



Ana Filipa Silva Biu Rodrigues

Licenciada em Ciências da Engenharia do Ambiente

Avaliação da Qualidade do Ar a longo prazo da cidade de Lisboa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Ordenamento do Território e
Impactes Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso
Ferreira, Professor Auxiliar de FCT – UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Manuel Fernandes Rodrigues
Vogais: Prof. Doutor Nelson Augusto Cruz de Azevedo Barros
Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira
Doutora Ana Cristina Caldeira da Silva Gouveia Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio 2013

Avaliação da Qualidade do Ar a longo prazo da cidade de Lisboa

Copyright © Ana Filipa Silva Biu Rodrigues,

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa,

Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Sendo uma pessoa de poucas palavras não podia deixar agradecer (em poucas palavras) às pessoas que de várias formas contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Francisco Ferreira pela orientação, pela disponibilidade e paciência, e pela transmissão conhecimentos ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço à Ana Carvalho, ao Pedro Gomes e ao Paulo Pereira do grupo de investigação de qualidade do ar do DCEA pelo incentivo, pela total disponibilidade, pelos conselhos bastantes úteis nas várias etapas do trabalho e pelo apoio prestado na disponibilização de informação e na recolha de dados.

Por último um agradecimento especial aos meus pais e ao António pela paciência e compreensão, e pela motivação que sempre me deram durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O crescimento da população e do tráfego rodoviário nos centros urbanos, que se tem verificado na última década, tem contribuído para a deterioração da qualidade do ar, particularmente em cidades como a de Lisboa, onde se tem verificado um incumprimento da legislação nacional e comunitária.

Um dos principais objetivos deste trabalho foi a avaliação da qualidade do ar a longo prazo da cidade de Lisboa. Para tal, foram analisadas as concentrações dos poluentes atmosféricos, PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , NO_x e CO durante o período de 2001 a 2011 referentes às estações de monitorização da qualidade do ar da Avenida da Liberdade e Entrecampos (estações de tráfego), e Olivais e Restelo (estações de fundo). A metodologia utilizada na avaliação da qualidade do ar compreendeu, a verificação do cumprimento da legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro) e a análise de tendências das concentrações destes poluentes, em conjunto com a ponderação da influência do tráfego rodoviário e das diferentes condições meteorológicas na qualidade do ar.

Perante esta avaliação pode-se concluir que a qualidade do ar na cidade de Lisboa é muito influenciada pelo tráfego rodoviário e que as PM_{10} e o NO_2 são os poluentes mais críticos, justificando-se nos últimos dois anos, terem sido alvos de medidas de redução de emissões, com intuito de melhorar a qualidade do ar da cidade.

O segundo principal objetivo deste trabalho foi a avaliação da implementação da Zona de Emissões Reduzidas (ZER) na cidade de Lisboa, incidindo especificamente na implementação da fase 2. De forma a cumprir o objetivo, foram analisadas três zonas (Zona1, Zona2 e zona fora da ZER), tendo em conta as tipologias e as normas Euro dos veículos nos períodos pré e pós entrada em vigor, e ainda o cálculo das emissões reduzidas na Avenida da Liberdade após entrada em vigor da fase 2.

Concluiu-se que a implementação da ZER teve um impacto ainda pouco significativo e que a diminuição do tráfego médio diário nos últimos anos, e a renovação do parque automóvel deverão ser os responsáveis pela redução do número de veículos com norma Pré-Euro e Euro 1 a circular na cidade de Lisboa.

Palavras-Chave: Qualidade do Ar, avaliação, ZER, Lisboa.

ABSTRACT

The growth of population and road traffic in urban centres, which has occurred in the last decade, has contributed to the deterioration of air quality, particularly in cities like Lisbon, where there has been a breach of national and European legislation.

A main objective of this study was to assess the air quality in Lisbon under a long term perspective. The concentrations of the air pollutants: PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , NO_x and CO were analyzed during the period from 2001 to 2011 concerning the air quality monitoring stations Avenida da Liberdade and Entrecampos (traffic stations), and Olivais and Restelo (background stations). The methodology used in the assessment of air quality involved the verification of compliance of the legislation currently in force (Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro) and the analysis of trends in concentrations of these pollutants, together with the weighting of the influence of road traffic and the weather conditions on air quality.

It is concluded that the air quality in the city of Lisbon is greatly influenced by road traffic: PM_{10} and NO_2 are the most critical pollutants. In the past two years, several measures were developed in order to improve the air quality of the city.

The second main objective of this study was to evaluate the implementation of a Low Emissions Zone (LEZ) in Lisbon, focusing specifically on the implementation of phase 2. In order to comply with the objective, three zones were analyzed (Zone 1, Zone 2 and Zone outside the LEZ), accounting in particular to the typologies and Euro standards of cars in the periods before and after entry into force, and evaluating the emission reductions in Avenida da Liberdade after entry into force of phase 2.

It was concluded that implementing the ZER still has a relatively small impact and that the decrease average daily traffic in recent years, and the vehicle fleet renewal should be responsible for the reduction of the number of vehicles with standard pre-Euro and Euro 1 circulating in Lisbon.

Keywords: Air Quality, assessment, LEZ, Lisbon.

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introdução..... | 1 |
| 2. | Revisão Bibliográfica..... | 3 |
| 2.1. | Qualidade do Ar Urbano | 3 |
| 2.2. | Poluentes Atmosféricos..... | 4 |
| 2.2.1. | Partículas – PM | 6 |
| 2.2.2. | Óxidos de Azoto – NO _x | 7 |
| 2.2.3. | Monóxido de Carbono – CO | 8 |
| 2.3. | Enquadramento Legal..... | 9 |
| 2.4. | Monitorização da Qualidade do Ar | 12 |
| 2.5. | Parâmetros Meteorológicos que influenciam a qualidade do ar urbano..... | 13 |
| 2.6. | Zonas de Emissões Reduzidas..... | 16 |
| 3. | Caracterização do Caso de Estudo | 21 |
| 4. | Avaliação da Qualidade do Ar a Longo Prazo na cidade de Lisboa | 27 |
| 4.1. | Metodologia..... | 27 |
| 4.1.1. | Enquadramento..... | 27 |
| 4.1.2. | Avaliação da Qualidade do Ar | 29 |
| 4.2. | Dados meteorológicos | 31 |
| 4.3. | Resultados /Discussão | 35 |
| 4.3.1. | Partículas – PM ₁₀ e PM _{2,5} | 35 |
| 4.3.2. | PM _{2,5} versus PM ₁₀ | 41 |
| 4.3.3. | Óxidos de Azoto – NO ₂ e NO _x | 43 |
| 4.3.4. | NO ₂ versus NO _x | 50 |
| 4.3.5. | Monóxido de Carbono – CO | 52 |
| 5. | Avaliação da Implementação das Zonas de Emissões Reduzidas | 57 |
| 5.1. | Metodologia..... | 57 |
| 5.1.1. | Enquadramento..... | 57 |
| 5.1.2. | Recolha de dados de tráfego referentes aos anos 2011 e 2012..... | 59 |
| 5.1.3. | Determinação e análise da tipologia e da norma Euro dos veículos que circulam na Zona 1 e 2 da ZER e fora da zona ZER..... | 60 |
| 5.1.4. | Cálculo da redução de emissões de PM ₁₀ e NO _x na Avenida da Liberdade face à implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa. | 61 |
| 5.2. | Resultados/Discussão | 62 |
| 5.2.1. | Zona 1 da ZER em Lisboa..... | 62 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.2.2. | Zona 2 da ZER em Lisboa..... | 64 |
| 5.2.3. | Zona fora da ZER em Lisboa | 67 |
| 5.2.4. | Avaliação comparativa dos resultados referentes a todas as zonas | 69 |
| 5.2.5. | Cálculo de emissões reduzidas na Avenida da Liberdade após implementação da Fase 2 da ZER..... | 70 |
| 6. | Conclusão | 73 |
| 7. | Referências Bibliográficas | 77 |
| 8. | Anexos..... | 81 |
| 8.1. | Padrões diários das concentrações médias anuais dos poluentes | 81 |
| 8.2. | Preço médio anuais dos combustíveis | 86 |
| 8.3. | Fatores de Emissão..... | 86 |
| 8.4. | Tráfego médio diário na Avenida da Liberdade | 87 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1 – LEGISLAÇÃO COMUNITÁRIA E NACIONAL RELATIVA À QUALIDADE DO AR. (ADAPTADO DE SOUSA, 2007)..... | 10 |
| FIGURA 3.1 – EXEMPLO DA SINALIZAÇÃO VERTICAL EXISTENTE NA ZER EM LISBOA..... | 26 |
| FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA SEGUIDA PARA ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DE QUALIDADE DO AR. | 27 |
| FIGURA 4.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA SEGUIDA PARA ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS RECOLHIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA GAGO COUTINHO. | 28 |
| FIGURA 4.3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DA CIDADE DE LISBOA CONSIDERADAS NESTE ESTUDO (APA, 2012 B)..... | 29 |
| FIGURA 4.4 - ROSA DOS VENTOS PARA O PERÍODO DE 2001 A 2011..... | 31 |
| FIGURA 4.5 – VALORES MÉDIOS ANUAIS DE HUMIDADE RELATIVA (%) E VELOCIDADE DO VENTO (M/S) ENTRE OS ANOS 2001 E 2011. | 32 |
| FIGURA 4.6 - VALORES MÉDIOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO (MM) E TEMPERATURA (°C) ENTRE OS ANOS 2001 E 2011. | 32 |
| FIGURA 4.7 - VALORES MÉDIOS ANUAIS DE RADIAÇÃO SOLAR (KJ/M ²) ENTRE OS ANOS 2001 E 2011. | 33 |
| FIGURA 4.8 – REPRESENTAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS ANUAIS DE VELOCIDADE DO VENTO (M/S), TEMPERATURA (°C), RADIAÇÃO SOLAR (KJ/M ²), HUMIDADE RELATIVA (%) E PRECIPITAÇÃO (MM), POR ESTAÇÃO DO ANO. | 34 |
| FIGURA 4.9 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MÁXIMOS DIÁRIOS ANUAIS E EXCEDÊNCIAS AOS LIMITES ESTABELECIDOS PARA PM ₁₀ (VALOR LIMITE DIÁRIO) POR ANO. | 36 |
| FIGURA 4.10 - EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS E LIMITES ESTABELECIDOS PARA PM ₁₀ (VALOR LIMITE ANUAL). | 36 |
| FIGURA 4.11 – REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSIS DE PM ₁₀ E LINHA DE TENDÊNCIA COM SAZONALIDADE A) E SEM SAZONALIDADE B) AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO. | 37 |
| FIGURA 4.12 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE PM ₁₀ E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO..... | 38 |
| FIGURA 4.13 - REPRESENTAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE PM _{2,5} E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA AS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DE ENTRECAMPOS E OLIVAIS. | 39 |
| FIGURA 4.14 – PADRÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE PM ₁₀ E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 40 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 4.15 - PADRÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE $PM_{2,5}$ E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA AS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DE ENTRECAMPOS E OLIVAIS. | 41 |
| FIGURA 4.16 - ROSAS DE POLUIÇÃO DO RÁCIO $PM_{2,5}/PM_{10}$ REFERENTES AOS ANOS EM ESTUDO, PARA A ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO DE ENTRECAMPOS E OLIVAIS. | 42 |
| FIGURA 4.17 - EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MÁXIMOS HORÁRIOS E EXCEDÊNCIAS AOS LIMITES ESTABELECIDOS PARA NO_2 (VALOR LIMITE HORÁRIO) POR ANO. | 43 |
| FIGURA 4.18 - EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS E VALOR-LIMITES ESTABELECIDOS PARA NO_2 (VALOR LIMITE ANUAL). | 44 |
| FIGURA 4.19 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE NO_2 E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 45 |
| FIGURA 4.20 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE NO_x AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 46 |
| FIGURA 4.21 - PADRÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE NO_2 E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 47 |
| FIGURA 4.22 - PADRÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE NO_x AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 49 |
| FIGURA 4.23- ROSAS DE POLUIÇÃO DO RÁCIO NO_2/NO_x REFERENTES AOS ANOS EM ESTUDO, PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 51 |
| FIGURA 4.24 - EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MÓVEIS OCTO-HORÁRIAS E LIMITES ESTABELECIDOS PARA CO (VALOR LIMITE OCTO-HORÁRIO). | 52 |
| FIGURA 4.25 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE CO E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 53 |
| FIGURA 4.26 - PADRÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE CO E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 54 |
| FIGURA 5.1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA SEGUIDA RECOLHA DE DADOS REFERENTES AO PERÍODO APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 2 DA ZER EM LISBOA (ANO 2012). | 57 |
| FIGURA 5.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA SEGUIDA PARA DETERMINAÇÃO E ANÁLISE DA TIPOLOGIA E DA NORMA EURO DOS VEÍCULOS QUE CIRCULAM NA ZONA 1 E 2 DA ZER E FORA DA ZONA ZER. | 58 |
| FIGURA 5.3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA METODOLOGIA SEGUIDA CÁLCULO DA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE PM_{10} E NO_x NA AVENIDA DA LIBERDADE FACE À IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 2 DA ZER EM LISBOA. | 59 |
| FIGURA 5.4 - PERCENTAGENS PARA AS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS QUE CIRCULAM NA ZONA 1 DA ZER. | 62 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 5.5 – PERCENTAGEM DOS VEÍCULOS QUE CIRCULAM NA ZONA 1 DA ZER, TENDO EM CONTA A TIPOLOGIA E A NORMA EURO. | 63 |
| FIGURA 5.6 – PESO DOS VEÍCULOS COM NORMA PRÉ – EURO 2 QUE CIRCULAM NA ZONA 1 DA ZER, PARA O ANO 2011 E 2012..... | 63 |
| FIGURA 5.7 – PESO DOS VEÍCULOS COM NORMA EURO 4/5 QUE CIRCULAM NA ZONA 1 DA ZER, PARA O ANO 2011 E 2012. | 64 |
| FIGURA 5.8 - PERCENTAGENS PARA AS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS QUE CIRCULAM NA ZONA 2 DA ZER..... | 65 |
| FIGURA 5.9 - PERCENTAGEM DOS VEÍCULOS QUE CIRCULAM NA ZONA 2 DA ZER, TENDO EM CONTA A TIPOLOGIA E A NORMA EURO. | 65 |
| FIGURA 5.10 - PESO DOS VEÍCULOS COM NORMA PRÉ – EURO 1 QUE CIRCULAM NA ZONA 2 DA ZER, PARA O ANO 2011 E 2012..... | 66 |
| FIGURA 5.11 - PESO DOS VEÍCULOS COM NORMA EURO 4/5 QUE CIRCULAM NA ZONA 2 DA ZER, PARA O ANO 2011 E 2012. | 66 |
| FIGURA 5.12 - PERCENTAGENS PARA AS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VEÍCULOS QUE CIRCULAM NA CIDADE DE LISBOA FORA DAS ZONAS ZER. | 67 |
| FIGURA 5.13 – PERCENTAGEM DOS VEÍCULOS QUE CIRCULAM FORA DAS ZONAS ZER, TENDO EM CONTA A TIPOLOGIA E A NORMA EURO. | 68 |
| FIGURA 5.14 - PESO DOS VEÍCULOS COM NORMA EURO 4/5 QUE CIRCULAM FORA DAS ZONAS ZER, PARA O ANO 2011 E 2012..... | 68 |
| FIGURA 5.15 – PERCENTAGEM DE EMISSÕES REDUZIDAS DE PM_{10} E NO_x APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 2 DA ZER NA AVENIDA DA LIBERDADE. | 71 |
| FIGURA 5.16 – EMISSÕES REDUZIDAS DE PM_{10} E NO_x POR DIA, APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 2 DA ZER NA AVENIDA DA LIBERDADE. | 72 |
| FIGURA 8.1 - PADRÃO SEMANAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE PM_{10} E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 81 |
| FIGURA 8.2 - PADRÃO SEMANAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE $PM_{2,5}$ E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 82 |
| FIGURA 8.3 - PADRÃO SEMANAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE CO E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO..... | 83 |
| FIGURA 8.4 - PADRÃO SEMANAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE NO_2 E LINHA DE TENDÊNCIA AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 84 |
| FIGURA 8.5 - PADRÃO SEMANAL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS DE NO_x AO LONGO DOS ANOS EM ESTUDO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO. | 85 |
| FIGURA 8.6 – EVOLUÇÃO DOS PREÇOS MÉDIOS ANUAIS DOS COMBUSTÍVEIS ENTRE OS ANOS 2001 E 2011. (DGEG, 2013)..... | 86 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 2.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS, FONTES E EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM ESTUDO. (ADAPTADO APA, 2012) | 5 |
| TABELA 2.2 – REQUISITOS LEGAIS DEFINIDOS PARA O CO PELO DL Nº 102/2010 DE 23 DE SETEMBRO..... | 10 |
| TABELA 2.3 - REQUISITOS LEGAIS DEFINIDOS PARA AS PM ₁₀ E PM _{2,5} PELO DL Nº 102/2010 DE 23 DE SETEMBRO..... | 11 |
| TABELA 2.4 - REQUISITOS LEGAIS DEFINIDOS PARA O NO ₂ PELO DL Nº 102/2010 DE 23 DE SETEMBRO..... | 11 |
| TABELA 2.5 - TIPO DE ESTAÇÃO QUANTO À INFLUÊNCIA E AMBIENTE. (BORREGO, ET AL., 2008)..... | 13 |
| TABELA 2.6- MEDIDAS DE ALGUMAS ZER IMPLEMENTADAS NA EUROPA. (ADAPTADO DE EU, 2013) | 18 |
| TABELA 2.7- IMPACTES DE ALGUMAS ZER IMPLEMENTADAS NA EUROPA. (ADAPTADO DE EU, 2013) | 20 |
| TABELA 3.1 – POLÍTICAS E MEDIDAS SUPRA-MUNICIPAIS DEFINIDAS NO PROGRAMA DE EXECUÇÃO DO PMQA-LVT. ADAPTADO DE (CCDR- LVT, ET AL., 2009)..... | 22 |
| TABELA 3.2 - POLÍTICAS E MEDIDAS MUNICIPAIS DEFINIDAS NO PROGRAMA DE EXECUÇÃO DO PMQA-LVT. ADAPTADO DE (CCDR- LVT, ET AL., 2009)..... | 23 |
| TABELA 3.3 – INFORMAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 1 DA ZER EM LISBOA. | 24 |
| TABELA 4.1 – CARACTERIZAÇÃO DE ALGUMAS DAS ESTAÇÕES MONITORIZAÇÃO DE QUALIDADE DO AR DA RMLVT..... | 30 |
| TABELA 5.1 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM UTILIZADOS PARA RECOLHA DE DADOS DE TRÁFEGO..... | 60 |
| TABELA 5.2 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DOS VEÍCULOS COM NORMA PRÉ- EURO 1, PRÉ- EURO 2 E EURO 4/5 QUE CIRCULAM NAS ZONAS ZER E FORA DA ZER..... | 69 |
| TABELA 5.3 - EMISSÕES EM G/DIA DE PM ₁₀ E NO _x CORRESPONDENTES A CADA NORMA E TIPOLOGIA DE TRÁFEGO NA AVENIDA DA LIBERDADE, PARA O PERÍODO ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 2 DA ZER..... | 70 |
| TABELA 5.4 - EMISSÕES EM G/KM DE PM ₁₀ E NO _x CORRESPONDENTES A CADA NORMA E TIPOLOGIA DE TRÁFEGO NA AVENIDA DA LIBERDADE, PARA O PERÍODO DEPOIS DA IMPLEMENTAÇÃO DA FASE 2 DA ZER..... | 71 |
| TABELA 8.1 – FATORES DE EMISSÃO DOS VEÍCULOS LIGEIROS MOVIDOS A GASÓLEO E GASOLINA (V = 26 KM/H)..... | 86 |
| TABELA 8.2 - FATORES DE EMISSÃO DOS VEÍCULOS PESADOS (URBAN BUSES, ASSUMIU-SE= HDV EM CIDADE)..... | 87 |
| TABELA 8.3 - FATORES DE EMISSÃO DOS MOTOCICLOS (v = 26 KM/H)..... | 87 |

| | |
|---|----|
| TABELA 8.4 – TRÁFEGO MÉDIO DIÁRIO NA AVENIDA DA LIBERDADE NOS ANOS 2011 E 2012..... | 87 |
|---|----|

LISTA DE SIGLAS

AML – Área Metropolitana de Lisboa

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CE – Comissão Europeia

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-Lei

EEA – *European Environment Agency*

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PM – Matéria Particulada

PM₁₀ – Partículas em suspensão suscetíveis de passar através de um filtro seletivo com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 10 µm

PM_{2,5} – Partículas em suspensão suscetíveis de passar através de um filtro seletivo com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 2,5 µm

PMQA-LVT – Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo

PSP – Polícia de Segurança Pública

RMLVT – Rede de Monitorização Lisboa e Vale do Tejo

RMQAr – Rede de Monitorização da Qualidade do Ar

TMD – Tráfego médio diário

UE – União Europeia

VAO – Vias de Alta Ocupação

WHO – *World Health Organization*

ZER – Zona de Emissões Reduzidas

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar tem sido objeto de intensa investigação nas últimas décadas. Atualmente é considerada como um dos fatores decisivos para a qualidade de vida nas áreas urbanas. Os poluentes atmosféricos primários são emitidos a partir de fontes naturais e antropogénicas, podendo posteriormente intervir em múltiplas reações originando poluentes secundários. Em meio urbano, as fontes de poluição antropogénicas típicas são principalmente o tráfego automóvel e, quando existente, a atividade industrial.

A necessidade de melhorar a qualidade do ar foi reconhecida há já várias décadas, tendo sido adotadas medidas a nível da União Europeia (UE), à escala nacional, tendo sido promovidas ao longo das últimas décadas várias convenções internacionais (CE, 2005).

No que diz respeito à qualidade do ar em Lisboa, as concentrações verificadas nos últimos anos, em relação a determinados poluentes, principalmente no que respeita às partículas e ao dióxido de azoto, têm estado acima dos valores admitidos por legislação comunitária e nacional.

Neste contexto, ganha pertinência a realização de uma análise evolutiva da qualidade do ar nesta zona.

Para avaliar a qualidade do ar na região é necessário verificar o cumprimento da atual Diretiva-Quadro (Diretiva 50/2008/CE do Parlamento Europeu e do Conselho) e entender a origem das emissões atmosféricas responsáveis por ultrapassagens aos valores-limite. De modo a melhorar a qualidade do ar nas principais vias da cidade e fazer cumprir os valores estipulados pela legislação foi elaborado um conjunto de Planos e Programas para a Melhoria da Qualidade do Ar abrangendo as aglomerações das regiões Lisboa e Vale do Tejo e Norte (CCDR- LVT, et al., 2009). Entre as medidas propostas no sentido de melhorar a qualidade do ar envolvendo a cidade de Lisboa, onde se verificam os valores mais elevados de concentração dos poluentes já anteriormente referidos, inclui-se a implementação de Zonas de Emissões Reduzidas (ZER).

O trabalho desenvolvido tem como um dos principais objetivos, avaliar a qualidade do ar na cidade de Lisboa para o período entre 2001 e 2010, contribuindo deste modo com informação técnica e científica relevante para uma melhor compreensão dos problemas existentes e permitindo perspetivar soluções futuras. De forma a alcançar este objetivo procedeu-se à análise dos dados de diversos poluentes monitorizados em quatro estações de qualidade do ar localizadas na cidade de Lisboa em conjunto com a avaliação da influência na qualidade do ar, quer do tráfego rodoviário, quer das diferentes condições meteorológicas existentes no período em estudo.

O segundo objetivo principal deste trabalho refere-se à avaliação da implementação da ZER na cidade de Lisboa, incidindo especificamente na implementação da fase 2 desta medida. A concretização deste

objetivo incidiu sobre os resultados decorrentes da entrada em funcionamento da ZER e a determinação das emissões reduzidas na Avenida da Liberdade após a implementação da fase 2 da ZER.

O trabalho desenvolvido encontra-se estruturado em 6 capítulos. Após a introdução, o capítulo dois aborda os principais conceitos relativos à qualidade do ar urbano, quer a nível de monitorização, legislação nacional e comunitária, e parâmetros meteorológicos que o influenciam. Este capítulo debruça-se ainda sobre a temática das Zonas de Emissão Reduzida (ZER).

No capítulo três é realizada a caracterização do caso de estudo, no que diz respeito à qualidade do ar em Lisboa e ao funcionamento da ZER implementada em Lisboa.

O capítulo quatro é dedicado à avaliação da qualidade do ar de Lisboa no longo prazo - período de dez anos - onde é realizada uma análise das tendências das concentrações e das excedências ocorridas através da verificação do cumprimento legal em cada estação de monitorização. No início deste capítulo é descrita a metodologia aplicada para avaliação da qualidade do ar seguida da análise das condições meteorológicas verificadas em Lisboa ao longo do período em estudo.

O quinto capítulo apresenta a avaliação da ZER em Lisboa, em particular no que respeita à implementação da fase 2 da ZER. Neste capítulo é feita a análise do cumprimento da ZER nas Zona 1 e 2 através da determinação da tipologia e norma Euro dos veículos. Semelhante ao capítulo quatro, a metodologia aplicada para a realização da avaliação da ZER é descrita no início do capítulo.

Por fim, no capítulo seis, e com base no trabalho realizado, são apresentadas conclusões sobre as principais temáticas em estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Qualidade do Ar Urbano

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias emitidas através de atividades antropogénicas em concentrações elevadas, acima dos seus níveis normais no ambiente, causando efeitos nos seres vivos ou a materiais (Seinfeld, et al., 1998).

A degradação da qualidade do ar está relacionada diretamente com a poluição atmosférica, uma vez que, através do nível de poluição na atmosfera é possível avaliar a qualidade do ar ambiente (Gonçalves, 2008).

Os grandes centros urbanos são locais onde a incidência da poluição do ar pode ser particularmente grave pelo seu impacto na saúde da população.

Os setores da indústria, energia e transportes destacam-se como as principais fontes de poluição atmosférica, os quais estão diretamente associados à perda da qualidade do ar, em zonas urbanas, onde são registados elevados valores de concentração de poluentes.

Em ambiente urbano, o sector dos transportes distingue-se das restantes fontes de poluição, devido à proximidade entre as emissões e a população, o que aumenta o nível de exposição aos poluentes emitidos por este sector, como também devido às fracas condições de dispersão dos poluentes presentes em do ambiente citadino. Os níveis elevados de poluição atmosférica são geralmente observados em *street canyons*, termo utilizado para descrever avenidas ladeadas por edifícios onde é comum verificarem-se excedências nos padrões de qualidade do ar definidos legalmente (Vardoulakis, et al., 2003). A presença de edifícios e sua disposição na malha urbana tem implicações ao nível da redução da velocidade do vento afetando deste modo a dispersão dos poluentes e consequente acumulação dos poluentes criando locais específicos denominados de *hot-spots* em áreas urbanas (Santos, 2003).

O progressivo aumento volume de tráfego rodoviário, principalmente nos centros urbanos, resulta maioritariamente da dependência da população em relação ao uso do automóvel. Este facto tem provocado um consumo excessivo e ineficiente de energia, bem como a diminuição das condições de mobilidade e da qualidade de vida urbana (Martins, 2005). O desenvolvimento das áreas urbanas e o aumento do poder de compra da população sugerem uma utilização permanente do transporte rodoviário individual, conduzindo ao inevitável crescimento do parque automóvel.

Grande parte dos problemas de ambiente urbano tem origem no crescimento irregular das periferias das cidades que cresceram sem infraestruturas comerciais, de serviços e culturais, isolando os seus habitantes em zonas residenciais distantes, forçando a movimentos pendulares de casa para o trabalho, colocando pressões insustentáveis sobre a rede viária e o estacionamento no centro da cidade (Martins, 2005).

As emissões provenientes do tráfego rodoviário são oriundas do processo de combustão, com a consequente libertação pelo tubo de escape de diversos poluentes, para além da própria evaporação do combustível ou de outros produtos associados ao funcionamento do veículo. As duas últimas décadas têm sido importantes no que diz respeito a avanços tecnológicos (exemplo disso, a introdução dos catalisadores) (Osses, et al., 2002). A indústria automóvel tem vindo a melhorar a eficiência de consumo dos veículos com a introdução de normas mais rigorosas em matéria de emissões; as melhorias na qualidade dos combustíveis conduziram por exemplo a uma redução significativa das emissões de óxidos de azoto (NO_x) provenientes de veículos de passageiros e de mercadorias (EEA, 2012).

Embora as emissões provenientes dos veículos e as fontes pontuais tenham sido reduzidas por meio da utilização de combustíveis menos poluentes e do avanço da tecnologia, as zonas urbanas ainda apresentam um crescente stress ambiental, nomeadamente perdas de espaços abertos, aumento de tráfego automóvel e degradação da qualidade do ar (Borrego, et al., 2005). A presença deste stress mostra que o avanço tecnológico não é a única solução para a degradação da qualidade do ar urbano, apontando para a necessidade desenvolver planos ou estratégias no sentido do melhoramento dos vários níveis da estrutura urbana.

No que respeita às emissões atmosféricas nas zonas urbanas, para além dos veículos automóveis, há também que considerar fontes industriais e fontes domésticas. Em determinadas regiões, como o Norte de Portugal, o aquecimento é a principal fonte doméstica nas cidades, em que as emissões desta fonte são provenientes da combustão de madeira em lareiras, sendo emitidas durante os meses mais frios (Gonçalves, 2008).

2.2. Poluentes Atmosféricos

Os poluentes atmosféricos de origem antropogénica são emitidos por numerosas e variadas fontes, como por exemplo a atividade industrial, os transportes e a agricultura. A influência de fontes naturais não pode ser desprezada tendo como fontes principais a atividade vulcânica, as brisas marinhas, os fogos florestais e o transporte de partículas de regiões desérticas.

Alguns poluentes são emitidos por acidente, mas um grande número é emitido por indústrias ou outras atividades, podendo causar efeitos adversos na saúde humana e no ambiente. Na Tabela 2.1 encontra-se a informação relativa às fontes e efeitos dos poluentes na saúde humana e na atmosfera.

Tabela 2.1 - Principais características, fontes e efeitos dos poluentes atmosféricos em estudo. (adaptado APA, 2012 a)

| Poluentes | Fontes | Efeitos na Saúde Humana | Efeitos na atmosfera e no Património |
|---|---|--|---|
| Partículas inaláveis e partículas finas (PM₁₀ e PM_{2,5}) | <ul style="list-style-type: none"> -Tráfego -Sector industrial (cimenteiras, indústria química, refinarias, siderurgias, pastas de papel, extração de madeiras -Obras de construção civil -Processos agrícolas (ex. aragem dos solos) | <ul style="list-style-type: none"> - Responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares. - Irritações nasais | <ul style="list-style-type: none"> - Redução da visibilidade - Danificam o património construído, especialmente tintas. |
| NO_x | <ul style="list-style-type: none"> -Tráfego -Sector industrial, em geral, dado que é o resultado da queima de combustíveis a temperaturas mais ou menos elevadas | <ul style="list-style-type: none"> - Provocar problemas do foro respiratório, especialmente em crianças, tais como doenças respiratórias (asma ou tosse convulsa). | <ul style="list-style-type: none"> - Diminuição da visibilidade (formação do nevoeiro fotoquímico, também conhecido como smog) - Precursor da formação de ozono troposférico. |
| CO | <ul style="list-style-type: none"> -Tráfego (especialmente veículos sem catalisador) -Indústrias | <ul style="list-style-type: none"> - Inibe a capacidade do sangue em trocar oxigénio com os tecidos vitais. - Afeta principalmente o sistema cardiovascular e o sistema nervoso. | |

2.2.1. Partículas – PM

A matéria particulada (PM) é o termo geral que é utilizado para uma mistura de partículas de aerossol sólidas e líquidas suspensas no ar. As partículas são produzidas por processos antropogênicos e naturais e variam muito em tamanho, composição e origem (EEA, 2012).

Os processos naturais incluem a circulação de pólen, sal marinho, poeiras naturalmente suspensas e cinzas vulcânicas. Quanto aos processos antropogênicos, estes incluem principalmente a queima de combustíveis na produção de energia térmica, incineração, aquecimento doméstico, a combustão dentro dos motores dos automóveis e o pavimento das vias de tráfego (EEA, 2012).

As PM quando são diretamente emitidas, por exemplo, quando o combustível é queimado e quando as poeiras são transportadas pelo vento, denominam-se de partículas primárias. Relativamente às partículas secundárias, estas são emitidas indiretamente para a atmosfera e são formadas quando os poluentes gasosos na atmosfera são alvo de reações de oxidação e transformação.

No que diz respeito ao tamanho, as partículas podem ser definidas como partículas grosseiras, partículas finas e ultra finas. As partículas grosseiras contêm partículas com diâmetro superior a 1 μm , as partículas finas têm um diâmetro inferior a 1 μm e por fim o diâmetro das partículas ultra-finas é inferior a 0,1 μm . Geralmente as PM são divididas por dois grupos definidos como PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$. As PM_{10} são partículas com diâmetro até 10 μm , ou seja, são partículas grosseiras e finas. No entanto, o diâmetro do $\text{PM}_{2,5}$ está definido até 2,5 μm e compreende somente as partículas finas e ultra-finas. (WHO, 2003).

O tempo de residência das PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ na atmosfera é determinado pelo tamanho das partículas. As $\text{PM}_{2,5}$ têm um tempo de residência superior comparativamente às PM_{10} , as primeiras podem permanecer durante dias e semanas na atmosfera, podendo portanto ser transportadas a longas distâncias. As PM_{10} são removidas da atmosfera por ação da sedimentação e precipitação tendo um tempo de residência de algumas horas.

Nas cidades a principal fonte emissora é o tráfego rodoviário, através das emissões dos escapes dos veículos, das poeiras da estrada e do desgaste dos pneus e dos travões, sendo estas fontes locais bastante significativas nas concentrações de partículas observadas nas zonas urbanas (Martins, 2005).

- Efeitos na Saúde Humana

A exposição a concentrações elevadas de PM está associada a um aumento da morbilidade e mortalidade, sendo estes fatores traduzidos numa diminuição da esperança média de vida (Maurício, 2009).

Vários estudos científicos têm evidenciado a relação entre a exposição crónica a PM e o risco de desenvolver doenças cardiovasculares e respiratórias, o que faz das PM um dos poluentes mais importantes em termos de potenciais efeitos na saúde humana (EEA, 2010). A perigosidade das partículas está diretamente relacionada com o seu tamanho, uma vez que quanto menor for a sua dimensão mais fácil é a entrada no sistema respiratório. As partículas mais pequenas (ultrafinas), principalmente as de origem antropogénica, são as mais perigosas, pois penetram nos alvéolos pulmonares atingindo a circulação sanguínea (Querol, et al., 2001)

Os problemas cardíacos e respiratórios, irritação das mucosas dos olhos, nariz e garganta e danos no sistema imunitário primário são outros dos impactes negativos na saúde, provocado por elevadas concentrações de partículas no ar ambiente (WHO, 2011).

2.2.2. Óxidos de Azoto – NO_x

Os óxidos de azoto (NO_x) são principalmente resultado da queima de combustíveis fósseis proveniente do transporte rodoviário e de instalações industriais (Schnitzhofer, et al., 2008).

Os NO_x são geralmente incolores e inodoros, por exemplo o NO; no entanto, o NO₂ apresenta uma cor vermelho acastanhada, um odor ácido e é solúvel em água. Nas áreas urbanas o NO₂ juntamente com as partículas pode ser observado como uma camada da sua cor característica (WHO, 2006).

A maior parte dos NO_x, apresentam-se sobre a forma de NO; quando este é emitido para a atmosfera, reage com as moléculas de oxigénio em processos fotoquímicos, convertendo-se em NO₂. Elevados níveis de dióxido de azoto deve-se a episódios de elevada radiação solar estando este poluente sujeito a variações sazonais (Araújo, 2008). Na combustão a elevadas temperaturas é libertado azoto (N) que reage com oxigénio formando NO uma forma instável que rapidamente se oxida formando-se NO₂ (Seinfeld, et al., 1998).

As principais fontes de NO_x são os veículos automóveis, as centrais termelétricas, as indústrias e as fontes comerciais e residenciais onde se queimam combustíveis. Grande parte das emissões de NO_x provenientes da maioria das fontes de combustão, com exceção dos veículos a diesel, são diretamente emitidas na forma de monóxido de azoto (NO). O dióxido de azoto (NO₂) emitido diretamente do

tráfego rodoviário está a aumentar significativamente devido ao aumento do número de veículos a diesel. O sistema de tratamento de gases de escape nos veículos a diesel aumenta as emissões diretas de dióxido de azoto (NO_2) (EEA, 2012).

Os motores de combustão interna que existem nos automóveis, possuem condições muito favoráveis para a formação de NO , sendo os veículos automóveis os principais emissores deste poluente. Porém, estas condições também ocorrem nas caldeiras das centrais termoelétricas, sendo registadas elevadas concentrações de NO_x perto das centrais (Vallero, 2008).

Os NO_x podem também ser produzidos por fontes naturais, nomeadamente descargas elétricas ocorridas na atmosfera, fogos florestais e decomposição bacteriológica da matéria orgânica (Santos, 2003).

-Efeitos na saúde humana

O NO_2 que é mais solúvel, consegue penetrar mais profundamente na região pulmonar. Este facto faz aumentar a ocorrência de doenças respiratórias através de lesões ao nível dos brônquios e alvéolos pulmonares que por sua vez leva ao desenvolvimento de bronquite crónica e enfisemas (WHO, 2011). Estudos recentes sugerem que as crianças asmáticas ou grupos de risco propensos ao desenvolvimento da asma são mais sensíveis aos efeitos da exposição ao NO_2 que a restante população (Belanger, et al., 2006).

2.2.3. Monóxido de Carbono – CO

O monóxido de carbono é um gás tóxico, incolor e inodoro que resulta da combustão incompleta de combustíveis fósseis e biocombustíveis, que ocorre essencialmente através do setor automóvel (EEA, 2012).

O tempo de vida do monóxido de carbono (CO) na atmosfera é cerca de três meses. Este tempo de vida relativamente longo permite ao monóxido de carbono (CO) oxidar-se lentamente em dióxido de carbono (CO_2), existindo também a formação de ozono (O_3) durante este processo (EEA, 2012).

As fontes de origem antropogénica são as que mais contribuem para o aumento da concentração dos compostos de carbono na atmosfera. Estas fontes são o tráfego, principalmente os veículos sem catalisador, e as indústrias. As erupções vulcânicas e os oceanos são as fontes de origem natural do CO (WHO, 2011).

-Efeitos na Saúde Humana

O CO é um gás relativamente estável na atmosfera, a inalação é a única via significativa de exposição a este poluente. Este poluente reage com a hemoglobina do sangue formando a carboxihemoglobina, reduzindo a capacidade do sangue de transportar oxigénio que por sua vez pode causar dores de cabeça, náuseas, vertigens, falta de respiração e fadiga (Colvile, et al., 2001). As exposições a níveis elevados de CO podem conduzir a coma e morte por envenenamento. Já concentrações mais baixas deste poluente podem gerar problemas cardiovasculares em doentes coronários (p.ex. casos de angina de peito) (WHO, 2011).

2.3. Enquadramento Legal

Nos últimos anos, tem sido observado um crescente envolvimento das sociedades nas questões ambientais sendo a qualidade do ar uma das áreas em que a Europa tem tido um papel bastante ativo. A Comissão Europeia definiu uma estratégia global comum aos Estados Membros, através da fixação de objetivos de longo prazo relativamente à avaliação da qualidade do ar (Miranda, et al., 2007).

Em 1996, foi adotada a Diretiva- Quadro 1996/62/CE, relativa à gestão e avaliação da qualidade do ar. A diretiva define os princípios estratégicos da Comissão Europeia, de forma a uniformizar os procedimentos técnicos, de informação ao público e de preservação e melhoria da qualidade do ar ambiente. Esta legislação comunitária relativa à Avaliação e Gestão da Qualidade do Ar Ambiente tem como objetivo avaliar a qualidade do ar ambiente através de métodos e normas comuns aos Estados Membros e estabelecer um fluxo de informação entre as entidades responsáveis a todos os níveis (nacional, regional e local) e a Comissão Europeia. Em Portugal a Diretiva-Quadro foi transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho de 1999.

A Diretiva-Quadro não estabelece valores normativos para qualquer poluente, no entanto, surgiram posteriormente quatro Diretivas-filhas que regulamentam valores normativos para cada poluente específico como se pode observar na Tabela 2.2.

Em 2008 foi publicada uma nova Diretiva relativa à qualidade do ar ambiente (Diretiva 2008/50/CE) que agrega num só documento a legislação que consta na anterior Diretiva-Quadro e nas Diretivas-filhas (1999/30/CE de 22 de Abril, 2000/69/CE de 16 de Novembro e 2002/3/CE de 12 de Fevereiro). A Diretiva 2008/50/CE, estabelece ainda a regulamentação para as PM_{2,5}, definindo objetivos de qualidade do ar, objetivos de redução da exposição, um indicador de exposição média, um valor alvo e um valor limite. Como se pode observar na Figura 2.1, a transposição desta diretiva foi realizada

através do Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro, reunindo também a transposição da diretiva 2004/107/CE.

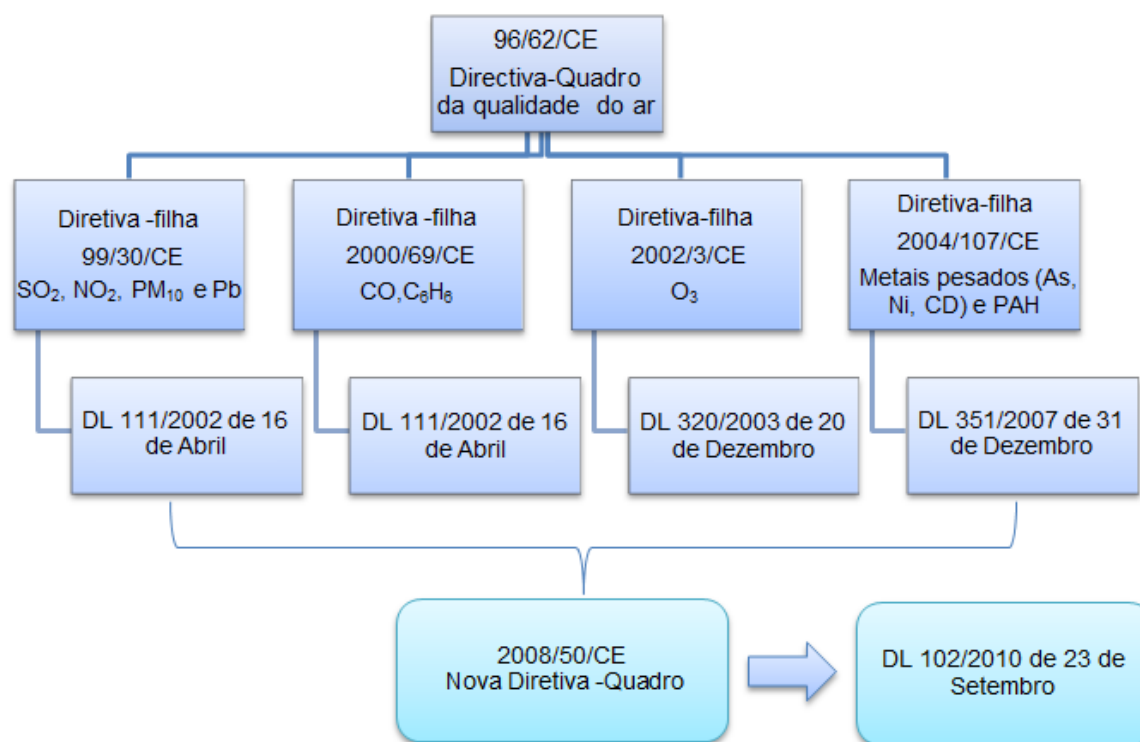


Figura 2.1 – Legislação Comunitária e Nacional relativa à qualidade do ar. (adaptado de Sousa, 2007)

A fim de caracterizar os níveis de qualidade do ar, a maioria destes documentos legais estabelecem uma série de parâmetros a avaliar. De seguida são apresentados os requisitos legais para os poluentes em estudo, regulamentados pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Requisitos legais definidos para o CO pelo DL nº 102/2010 de 23 de Setembro.

| Monóxido de Carbono – CO | | |
|--|--|-----------------------------------|
| Parâmetro | Período de Referência | Valor limite (µg/m ³) |
| Valor Limite para a Proteção da Saúde Humana | Máximo diário das médias octo-horárias | 10000 |

Tabela 2.3 - Requisitos legais definidos para as PM₁₀ e PM_{2,5} pelo DL nº 102/2010 de 23 de Setembro.

| Partículas – PM ₁₀ | | |
|--|-----------------------|--|
| Parâmetro | Período de Referência | Valor limite (µg/m ³) |
| Valor Limite para a Proteção da Saúde Humana | Um dia | 50, a não exceder mais de 35 vezes por ano civil |
| | Ano civil | 40 |
| Partículas – PM _{2,5} | | |
| Parâmetro | Período de Referência | Valor limite (µg/m ³) |
| Valor Limite para a Proteção da Saúde Humana | Ano Civil | 25 |

Tabela 2.4 - Requisitos legais definidos para o NO₂ pelo DL nº 102/2010 de 23 de Setembro.

| Dióxido de Azoto - NO ₂ | | |
|--|-----------------------|---|
| Parâmetro | Período de Referência | Valor limite (µg/m ³) |
| Valor Limite para a Proteção da Saúde Humana | Uma hora | 200, a não exceder mais de 18 vezes por ano civil |
| | Ano civil | 40 |

2.4. Monitorização da Qualidade do Ar

A monitorização dos poluentes atmosféricos constitui uma ferramenta fundamental na identificação, avaliação e resolução de problemas de qualidade do ar.

Para a avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente e em concordância com a Diretiva-Quadro 96/62/CE, todo o território a monitorizar deve ser dividido em zonas e aglomerações. No quadro da legislação nacional, entende-se por aglomeração uma zona com um número de habitantes superior a 250 mil habitantes ou com densidade populacional superior a 500 hab.km², e por zona uma área geográfica de características homogêneas em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional.

A monitorização da qualidade do ar faz-se recorrendo a estações fixas ou a campanhas experimentais efetuadas com estações móveis, usando para tal métodos de referência definidos pela legislação ou por documentos equivalentes (Mesquita, 2009). A monitorização é feita através de analisadores de funcionamento contínuo instalados nas estações ou em abrigos, sendo os dados geralmente expressos a partir das concentrações de um dado poluente num determinado intervalo de tempo. O funcionamento dos analisadores, baseia-se em características óticas ou nas propriedades físicas dos poluentes, tais como fluorescência de ultravioleta, quimiluminescência, entre outras. A amostragem contínua permite a produção de dados em tempo real, emitindo continuamente um sinal elétrico proporcional à concentração do poluente medido, sendo os valores instantâneos obtidos integrados em médias de um quarto de hora e armazenados na memória dos próprios analisadores (Brás, 2012). Os poluentes monitorizados nas estações da qualidade do ar são, principalmente, poluentes primários como o SO₂, os NO_x, o CO e as partículas e no caso dos poluentes secundários, destaca-se o O₃ (APA, 2008).

Os dados obtidos nas estações são periodicamente enviados, via telefone, para um servidor localizado nas CCDR integrando o sistema nacional de informação sobre qualidade do ar e encontrando-se disponíveis na base de *Dados Online do QualAR da Agência Portuguesa do Ambiente*.

As estações de monitorização localizam-se, com maior predominância, nas grandes áreas urbanas, onde é notória a influência do tráfego na qualidade do ar e nas áreas industriais mais relevantes.

A avaliação da qualidade do ar requer a implementação de redes de monitorização de qualidade do ar (RMQAr). As estações das redes de monitorização são classificadas de acordo com o ambiente em que estão inseridas e a influência a que estão sujeitas (Tabela 2.5), segundo os critérios EUROAIRNET (EEA, 1999).

Tabela 2.5 - Tipo de estação quanto à influência e ambiente. (Borrego, et al., 2008)

| Classificação | Tipo | Descrição |
|---------------|------------|---|
| Ambiente | Urbana | Localizada em ambiente urbano |
| | Suburbana | Localizada na periferia das cidades |
| | Rural | Localizada em ambiente rural |
| Influência | Tráfego | Monitorizam a qualidade do ar resultante das emissões diretas do tráfego automóvel |
| | Industrial | Monitorizam a qualidade do ar resultante das emissões diretas da indústria |
| | Fundo | Não monitorizam a qualidade do ar resultante das emissões diretas de nenhuma fonte em particular; representam a poluição a que qualquer cidadão, mesmo que viva longe de fontes de emissão, está sujeito. |

A existência de diferentes tipos de estações a operar na mesma RMQAr permite uma avaliação a diferentes escalas, facilitando assim a avaliação da qualidade do ar e sua gestão. Estas redes são estabelecidas com o fim de satisfazer vários objetivos, nomeadamente, medir a concentração dos poluentes no ar, informar sobre ao estado da qualidade do ar ambiente através dos índices de qualidade do ar, averiguar o cumprimento da legislação nacional, avaliar a evolução da qualidade do ar e desenvolver/validar algumas ferramentas aplicadas à gestão da qualidade do ar, entre outros aspetos (Monteiro, 2007).

2.5. Parâmetros Meteorológicos que influenciam a qualidade do ar urbano

A meteorologia tem um papel fundamental em relação à qualidade do ar dado que são as condições meteorológicas que determinam a dispersão de poluentes atmosféricos e a sua deposição no solo.

Nas áreas urbanas os condições meteorológicas não ocorrem da mesma forma que em áreas com outro tipo de ocupação do solo. A atmosfera urbana caracteriza-se normalmente por uma elevada complexidade devido ao nível da configuração, altura e disposição dos edifícios e das ruas, ou da topografia natural.

A qualidade do ar pode ficar comprometida, uma vez que a estrutura topográfica edificada favorece a acumulação dos poluentes provenientes do tráfego automóvel. Nestas áreas as ruas funcionam como vales, cujas vertentes são constituídas pelas paredes dos edifícios, e que acabam por ser definidas como *canyons urbanos* ou *street canyons* (Vardoulakis, et al., 2003). Devido ao aumento das emissões provenientes do tráfego e à redução da ventilação natural nos *street canyons* urbanos são observados elevados níveis de poluentes nestas zonas (Vardoulakis, et al., 2003). Estes locais são propensos a condições de estabilidade atmosférica e fenómenos de recirculação que conduzem á acumulação de poluentes.

A precipitação, a temperatura, a radiação solar, o vento, a humidade relativa e a estabilidade atmosférica são os parâmetros meteorológicos que condicionam a dispersão dos poluentes e as concentrações dos mesmos no ar.

➤ **Precipitação**

A precipitação pode remover os poluentes presentes no ar, sendo o seu papel proporcional à frequência e intensidade das chuvas. As chuvas atuam com muita eficiência na remoção dos poluentes do ar, em maior ou menor grau, dependendo da sua intensidade. As penetrações de frentes frias, além de ocasionar precipitações pluviométricas, promovem a intensificação dos ventos. Em locais onde o escoamento do ar é obstruído por grandes edificações, serras, montanhas, a precipitação pluviométrica passa a ser o único mecanismo capaz de remover os poluentes do ar, uma vez que sob tais circunstâncias estes não sofrem a ação dos ventos.

➤ **Temperatura**

A temperatura do ar constitui-se num parâmetro de interesse para os estudos que dizem respeito ao ambiente, pois reflete os resultados dos impactos energéticos da radiação solar sobre o sistema solo-superfície-atmosfera.

É comum que na baixa troposfera a temperatura diminua lentamente com o aumento da altitude. Contudo, este facto não impede que numa camada da troposfera ocorra o inverso deste comportamento, isto é, a temperatura aumente com a altura, fenómeno denominado como inversão térmica. Este fenómeno faz com que os movimentos verticais ascendentes sejam inibidos neste nível, pois o ar abaixo da camada de inversão é mais fria e densa que o ar acima desta (Seinfeld, et al., 1998). A camada de inversão funciona como barreira para os poluentes dificultando a sua dispersão (Sini, et al., 1996).

➤ **Radiação Solar**

A maior parte da energia inserida no sistema urbano provém do sol, através da radiação solar. À medida que a radiação penetra na atmosfera terrestre e existe um pelo aquecimento solar da superfície que gera transporte vertical de massas de ar. No entanto a radiação quando atinge os edifícios, esta pode também ser refletida em diversos sentidos dentro da área urbana. A capacidade de absorção da radiação solar na área urbana depende da refletividade de cada material utilizado nas construções urbanas e da geometria do *canyon* urbano. (Elminir, 2005)

A radiação solar tem também um papel importante na reatividade dos poluentes na atmosfera, também é um fator significativamente importante para sua transformação no ar, alterando sua concentração e produzindo outros compostos e/ou radicais livres. Como exemplo, pode-se referir os óxidos de azoto que, sob a ação da radiação solar, podem reagir fotoquimicamente produzindo, em especial, o ozono. Este facto conduz a uma diminuição da concentração de óxidos de azoto devido ao seu consumo nas reações fotoquímicas. (Seinfeld, et al., 1998)

➤ **Humidade Relativa**

A relação entre a quantidade percentual de vapor de água contido na atmosfera (%), em relação à sua capacidade de reter vapor d'água, àquela temperatura é chamada de umidade relativa. À medida que a temperatura aumenta a humidade relativa diminui.

Dentro dos parâmetros meteorológicos já mencionados o comportamento da velocidade e direção dos ventos e a estabilidade atmosférica são fenómenos importantes para a dispersão dos poluentes atmosféricos.

➤ **Vento**

O vento, ou movimentação da atmosfera, corresponde à movimentação do ar devido à diferença de pressão atmosférica, fluindo das áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão. Em áreas urbanizadas, o vento pode mudar sua direção e velocidade rapidamente devido a alguns fatores tais como, a configuração da topografia, a orientação das ruas e altura dos edifícios (Xie, et al., 2007). Geralmente, a maior rugosidade do solo urbano determina a diminuição da velocidade do vento e a ocorrência de efeitos aerodinâmicos específicos. A dispersão dos poluentes ocorre na direção dos ventos predominantes. A velocidade do vento desempenha um papel importante na diluição dos

poluentes, pois os ventos fortes tendem a diminuir a concentração dos poluentes, espalhando-os na sua direção. Quando o vento acalma os poluentes tendem a ficar mais concentrados num local conduzindo à acumulação dos mesmos nesse local. (Kumar, et al., 2008)

➤ **Estabilidade Atmosférica**

A estabilidade atmosférica é um parâmetro meteorológico utilizado para avaliação da dispersão, permitindo definir o estado da atmosfera ou descrever a sua capacidade dispersiva.

A influência da estabilidade na dispersão dos poluentes é de extrema importância, sobretudo em locais de maior acumulação de poluentes urbanos. Ela pode ser definida como sendo a sua capacidade de resistir ou intensificar os movimentos verticais. Quando ela resiste aos movimentos verticais é chamada de atmosfera estável, quando intensifica os movimentos verticais é dita atmosfera instável ou convectiva, e quando é indiferente a qualquer tipo de movimento vertical é chamada de atmosfera neutra (Seinfeld, et al., 1998).

A estabilidade atmosférica pode ocorrer em condições de ventos fracos e na ausência de nuvens, enquanto a instabilidade ocorre sob elevados níveis de radiação solar e ventos de baixa velocidade favorecendo as correntes verticais de ar. No entanto, céu nublado ou ventos fortes caracterizam a condição neutra da atmosfera (Martins, 2005). As condições de estabilidade são mais propícias no Inverno, na medida em que ocorre o arrefecimento da camada mais próxima da superfície resistindo a movimentos verticais.

2.6. Zonas de Emissões Reduzidas

As Zonas de Emissões Reduzidas (ZER) são áreas onde se restringe a entrada e circulação de veículos mais poluentes, tendo sido já aplicadas em vários países europeus. As ZER na Europa funcionam maioritariamente 24 horas por dia durante 365 dias por ano. No entanto, existem exceções como em Itália, em que a ZER opera durante os picos de tráfego e períodos selecionados.

Nas cidades, a implementação das ZER é das medidas mais eficazes na minimização dos problemas de qualidade do ar, sendo as concentrações de partículas e dióxido de azoto alvo de redução.

Até agora, foram implementadas ZER em 13 países europeus, sendo já possível avaliar o seu impacto real. Os veículos afetados pelas ZER diferem entre países e até mesmo entre zonas. Para além da tipologia dos veículos, estes são ainda classificados tendo em conta o seu desempenho ambiental,

caracterizado através das normas EURO. Em muitos outros casos, existe outro fator de classificação como a existência de filtros de partículas ou conversores catalíticos nos veículos.

Na Tabela 2.6, estão referidas informações sobre as medidas e impactes da ZER implementadas na Europa.

Tabela 2.6- Medidas de algumas ZER implementadas na Europa. (adaptado de EU, 2013)

| País | Cidade | Início | Medidas |
|----------|------------|---|--|
| Suécia | Estocolmo | Janeiro de 2010 | <p>Veículos afetados: Pesados de passageiros e mercadorias</p> <p>Restrições: - Interdição de Euro 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veículos Euro 3 podem circular até 2015, se registados pela primeira vez em 2007 - Veículos Euro 4 podem circular até 2016 - Veículos Euro 5 e EVV podem circular até 2020. <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.</p> |
| | Amesterdão | Outubro de 2008 | <p>Veículos afetados: Pesados de passageiros e mercadorias</p> <p>Restrições:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Até 1 de Julho de 2013 é permitida a circulação a Euro 3 ou adaptados com filtro de partículas, desde que não tenham mais de 8 anos e a Euro 4. - A partir de 1 de Julho de 2013 é permitida a circulação apenas a veículos com norma superior a Euro 4. <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.</p> |
| Alemanha | Berlim | <p>Fase 1: Janeiro de 2008</p> <p>Fase 2: Janeiro de 2010</p> | <p>Restrições: - Fase 1: Todos os veículos a gasóleo, gasolina e veículos sem conversor catalítico de circuito fechado (Euro 1 ou equivalente)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fase 2: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 4 <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.</p> |
| | Colónia | <p>Fase 1: Janeiro de 2008</p> <p>Fase 2: Janeiro de 2013</p> <p>Fase 3: Julho de 2014</p> | <p>Veículos afetados: Todos os veículos a gasóleo, gasolina e veículos sem conversor catalítico de circuito fechado, exceto motociclos.</p> <p>Restrições: - Fase 1: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fase 2: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 3 - Fase 3: Gasolina Euro 1 e Gasóleo Euro 4 <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano.</p> |

Tabela 2.6 (cont.) - Medidas de algumas ZER implementadas na Europa. (adaptado de EU, 2013)

| | | | |
|-----------------|-----------|-----------------|---|
| Dinamarca | Copenhaga | Julho de 2009 | <p>Veículos afetados: Pesados de passageiros e mercadorias com mais de 3,5 toneladas</p> <p>Restrições:</p> <p>- A partir de 1 de Julho de 2010 foi permitida a circulação a Euro 4 ou adaptados com filtro de partículas</p> <p>Funcionamento: Permanente, 365 dias por ano</p> |
| | Aalborg | | |
| República Checa | Praga | Janeiro de 2008 | <p>Veículos afetados: Pesados de passageiros e mercadorias com mais de 3,5 toneladas (área central) e 6 toneladas (área maior)</p> <p>Restrições: - Até 1 de Janeiro de 2013 é permitida a circulação a Euro 2</p> <p>- A partir de 1 de Janeiro de 2013 é permitida a circulação de veículos Euro 4 ou acima</p> <p>Funcionamento:</p> <p>Para veículos 3,5T: Segunda-feira a sexta-feira das 08h – 18h</p> <p>Para veículos 6T: permanente</p> |
| | | | |

Tabela 2.7- Impactes de algumas ZER implementadas na Europa. (adaptado de EU, 2013)

| País | Cidade | Impactes |
|----------|------------|---|
| Alemanha | Berlim | <p>Abril de 2009:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redução de emissões de PM₁₀ em 8% • Redução de emissões de NO₂ em 24% • Redução de 28 para 24 por ano nas excedências de PM₁₀ • Redução das concentrações de PM₁₀ em 14-22% • Redução das concentrações de NO₂ em 3% |
| | Colónia | <p>Primeiro ano:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redução das concentrações de PM₁₀ de 4 µg/m³ • Redução das concentrações de NO₂ de 0,5 µg/m³ • Redução de 7 excedências por ano de PM₁₀ |
| Suécia | Estocolmo | <p>No ano 2000:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redução de emissões de PM₁₀ em cerca de 40% • Redução de emissões de NO₂ em 10% • Redução das concentrações de PM_{0,2} entre 0,5 e 9% <p>Se todos os veículos tivessem cumprido as ZER esta redução seria entre 0,5 e 12%.</p> |
| Holanda | Amesterdão | <ul style="list-style-type: none"> • No verão 2008, as melhorias de qualidade real de ar foram ligeiramente inferiores ao previsto do que o previsto, com melhorias entre 0 e 2 µg/m³. • Impacto limitado pela aplicação gradual e por muitas isenções para veículos devido aos filtros de partículas para os veículos a diesel não estavam disponíveis. |

3. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.1. Qualidade de Ar em Lisboa e Plano de Melhoria de Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo

Nas cidades, a utilização do automóvel individual é dos fatores que mais agravam os níveis de poluição atmosférica. O automóvel é o meio de transporte mais utilizado pela população nas deslocações casa-trabalho. Em Lisboa cerca de 54% da população opta pelo automóvel para as suas deslocações diárias (INE, 2011). A evolução da procura das empresas de transportes públicos na AML é inclusive marcada por uma perda de passageiros (CCDR-LVT, 2001).

A cidade de Lisboa tem estado perante uma situação de incumprimento da legislação nacional e comunitária respeitante ao assunto da qualidade do ar, na medida que tem vindo a ultrapassar os limites estabelecidos no que respeita às concentrações de partículas (PM_{10}) e dióxido de azoto. O setor dos transportes rodoviários é a principal fonte de emissões dos poluentes PM_{10} e óxidos de azoto. A Avenida da Liberdade em Lisboa é a via onde se faz monitorização da qualidade do ar e que tem apresentado maiores concentrações de poluentes emitidos pelos automóveis, não só devido ao tráfego intenso mas também por ser estreita e rodeada de prédios altos.

Portugal encara um processo no Tribunal de Justiça Europeu, instaurado pela Comissão Europeia, devido ao repetido incumprimento dos níveis permitidos de concentração de poluentes em diversos locais monitorizados em Lisboa.

Segundo o Decreto-lei 279/2007, de 6 de Agosto, devem ser elaborados dos planos de melhoria de qualidade do ar para as zonas onde os valores limite estabelecidos para cada poluente são ultrapassados.

No ano 2005, a Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT) elaborou o Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo (PMQA-LVT), adequável às aglomerações da Área Metropolitana de Lisboa Norte, para as áreas onde se registaram níveis dos poluentes (PM_{10} e NO_2) superiores aos valores limite mais a respetiva margem de tolerância. Em 2009 a CCDR-LVT elaborou o Programa de Execução do PMQA-LVT, onde estão definidas medidas supra-municipais e municipais a aplicar de modo a cumprir os valores limites. Do conjunto de medidas de âmbito supra-municipal, destaca-se a ZER para a cidade de Lisboa, dada a sua importância para a redução das emissões dos poluentes em causa.

No programa de execução são definidas Políticas e Medidas (P&M) a aplicar que podem ser supra-municipais, uma vez que englobam vários municípios, outras são de responsabilidade de apenas um município. A maioria das medidas deste programa de execução é orientada para o sector dos transportes sendo o tráfego rodoviário a fonte primordial das emissões de partículas e óxidos de azoto na região de Lisboa. As Tabela 3.1 Tabela 3.2 apresentam as P&M de âmbito supra-municipal e municipal, respetivamente.

Tabela 3.1 – Políticas e Medidas Supra-Municipais definidas no Programa de Execução do PMQA-LVT. Adaptado de (CCDR- LVT, et al., 2009)

P&M Supra-Municipais

| | |
|-----|--|
| S1 | Criação de corredores VAO+BUS+E nos principais corredores de acesso a Lisboa |
| S2 | Criação de uma Zona de Emissões Reduzidas (ZER) na cidade de Lisboa |
| S3 | Incentivo à instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias |
| S4 | Otimização e melhoria do desempenho ambiental da frota da Carris |
| S5 | Introdução de critérios ambientais na reformulação do modelo de gestão e regime jurídico do parque de veículos do Estado |
| S6 | Incentivo ao abate de veículos pesados de mercadorias |
| S7 | Simplificação do procedimento de concessão do incentivo fiscal ao abate de automóveis ligeiros em fim de vida |
| S8 | Formação em eco condução |
| S9 | Incentivos à renovação da frota de veículos pesados de passageiros |
| S10 | Renovação das centrais de gestão de serviço de Táxi |
| S11 | Ações de formação para operadores de transporte público (Carris, Transtejo) |
| S12 | Passe 4_18@Escola.pt e Sub23@Superior.pt |
| S13 | Renovação da Frota da Transtejo e CP |
| S14 | Implementação do Sistema Energético a bordo dos Catamarãs da Transtejo |
| S15 | Fixação de novos valores limite de emissão de aplicação geral para fontes fixas e para instalações de combustão |
| S16 | Certificação de equipamentos de combustão residencial |

Tabela 3.2 - Políticas e Medidas Municipais definidas no Programa de Execução do PMQA-LVT. Adaptado de (CCDR- LVT, et al., 2009)

P&M Municipais

| | |
|----|--|
| M1 | Gestão e acalmia do tráfego |
| M2 | Otimização e melhoria do desempenho ambiental de veículos e frotas |
| M3 | Promoção e sensibilização ambiental |
| M4 | Promoção do uso de transportes coletivos |
| M5 | Promoção de “Modos Suaves” de mobilidade |
| M6 | Gestão da oferta de procura de estacionamento |
| M7 | Outro tipo de P&M (lavagem de ruas, supressão da utilização de sopradores de folhas, alteração de instalações de combustão com impacte local e introdução de projetos de <i>carpooling</i> e <i>carsharing</i>) |


3.2. Zonas de Emissão Reduzida em Lisboa

A ZER em Lisboa tem sido implementada de forma faseada tendo em conta a área geográfica abrangente, a tipologia dos veículos e o desempenho ambiental dos veículos, caracterizado com base nas normas EURO. Na Tabela 3.3 e 3.4 são apresentadas as características das fases 1 e 2 da implementação da ZER na cidade de Lisboa.

Tabela 3.3 – Informações sobre a implementação da Fase 1 da ZER em Lisboa.

| ZER – Fase 1 | |
|---------------------------------|--|
| Data de Implementação | 4 de Julho de 2011 |
| Zona 1 | |
| Área geográfica | <p>Eixo Avenida da Liberdade/Baixa</p>  |
| Período de Funcionamento | Dias úteis das 8h00 às 20h00 |
| Veículos abrangidos | Veículos pesados e ligeiros que respeitam pelo menos a norma EURO 1 (veículos cujo ano de construção é posterior a Julho de 1992 ou dotados de dispositivos que permitam cumprir a legislação) |

Tabela 3.4 - Informações sobre a implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa.

| ZER – Fase 2 | | |
|---------------------------------|---|---|
| Data de Implementação | 1 de Abril de 2012 | |
| | Zona 1 | Zona 2 |
| Área geográfica | Eixo Avenida da Liberdade/Baixa | <p>Zona da cidade de Lisboa compreendida pelos seguintes limites correspondentes à:</p> <p>Zona a sul da Avenida de Ceuta, Eixo Norte/Sul, Avenida das Forças Armadas, Avenida dos Estados Unidos da América, Avenida Marechal António de Spínola, Avenida Santo Condestável e Avenida Infante D. Henrique.</p> |
| |  | |
| Período de Funcionamento | Dias úteis das 7h00 às 21h00 | |
| Veículos abrangentes | Veículos pesados e ligeiros que respeitam pelo menos a norma EURO 2 (veículos cujo ano de construção é posterior a 1996 ou dotados de dispositivos que permitam cumprir a legislação) | Veículos pesados e ligeiros que respeitam pelo menos a norma EURO 1 (veículos cujo ano de construção é posterior a Julho de 1992 ou dotados de dispositivos que permitam cumprir a legislação) |

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| Veículos não abrangidos | <p>Veículos de emergência, especiais e de pessoas com mobilidade reduzida;</p> <p>Veículos históricos;</p> <p>Residentes no interior da Zona 1;</p> | <p>Veículos de emergência, especiais e de pessoas com mobilidade reduzida;</p> <p>Veículos históricos;</p> <p>Residentes em Lisboa;</p> |
|--------------------------------|---|---|

A identificação das zonas abrangidas pela ZER e a demarcação dos limites da Zona 1 e Zona 2 da ZER encontram-se identificadas através de sinalização vertical, como mostra a Figura 3.1.



Figura 3.1 – Exemplo da sinalização vertical existente na ZER em Lisboa.

A fiscalização é realizada pelas forças policiais (PSP e Policia Municipal), mediante a verificação da matrícula, do documento único automóvel ou título de registo de propriedade do veículo, do certificado oficial de “veículo de interesse histórico” e dístico de residente. Os veículos que tenham catalisadores ou filtro de partículas terão de apresentar o certificado de instalação do dispositivo com o número de série.

4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR A LONGO PRAZO NA CIDADE DE LISBOA

4.1. Metodologia

A avaliação da qualidade do ar ambiente é extremamente importante, sendo função das emissões de poluentes para a atmosfera e das condições meteorológicas verificadas. A variação dos parâmetros meteorológicos na atmosfera dificulta e/ou facilita a dispersão dos poluentes presentes na mesma. Em seguida, são apresentadas as metodologias utilizadas para a avaliação da qualidade do ar na cidade de Lisboa para um período de 10 anos.

4.1.1. Enquadramento

- Estações fixas de monitorização de qualidade do ar

A Figura 4.1 apresenta de forma esquemática a metodologia geral que foi utilizada na recolha, tratamento e análise dos dados das Estações fixas de monitorização de qualidade do ar.

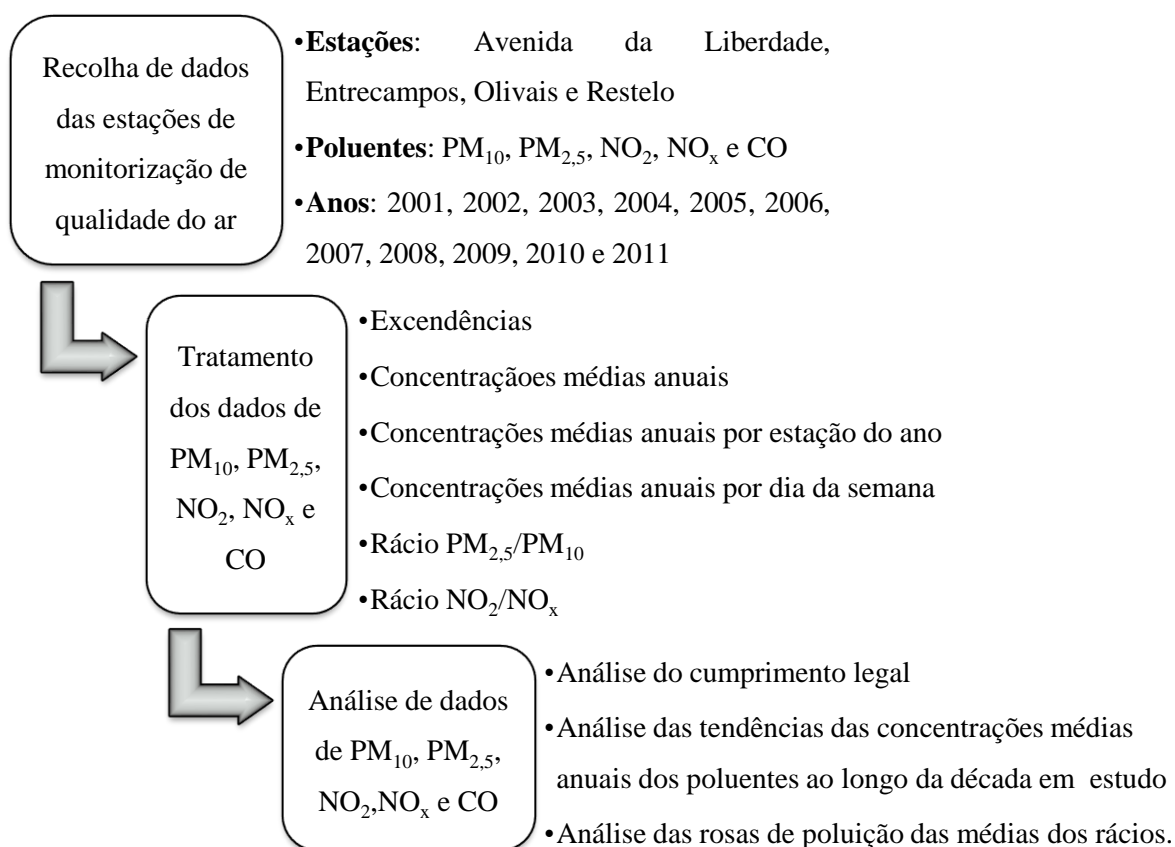


Figura 4.1 – Representação esquemática da metodologia seguida para análise dos dados das estações de monitorização de qualidade do ar.

- Dados meteorológicos

A Figura 4.2 representa a metodologia seguida para a realização do tratamento e análise dos dados meteorológicos.

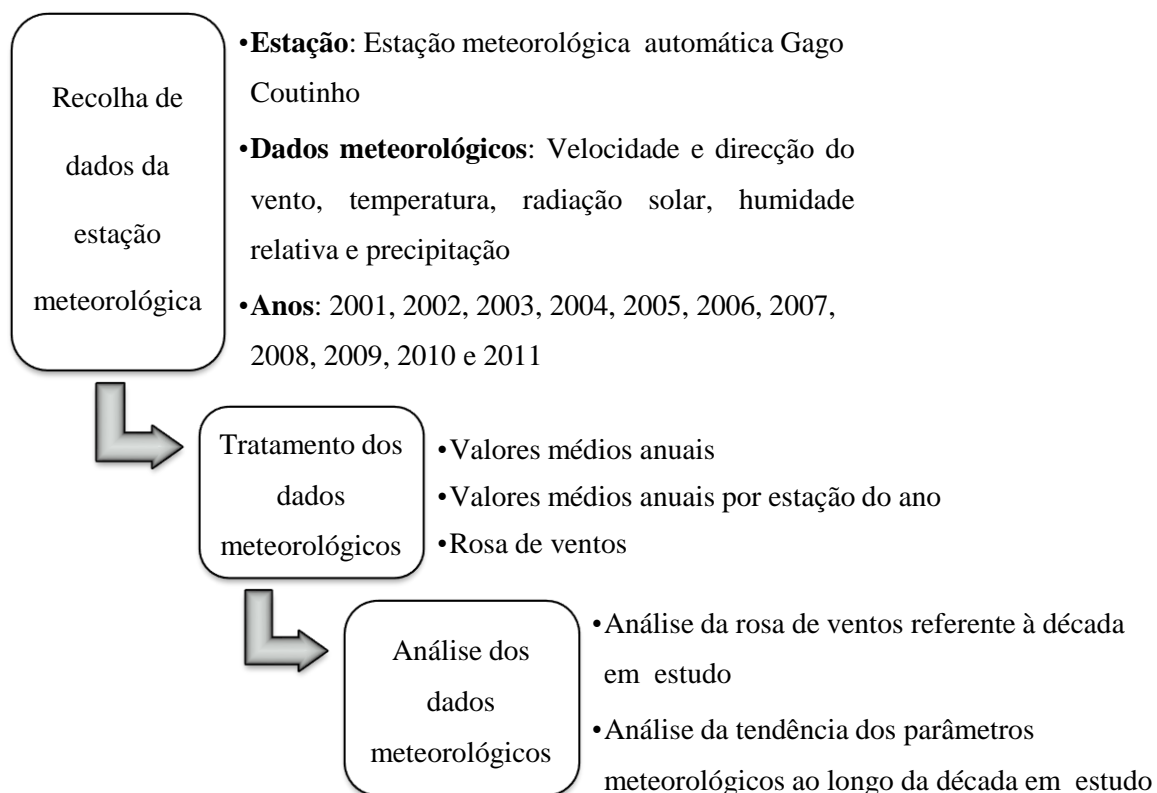


Figura 4.2 - Representação esquemática da metodologia seguida para análise dos dados meteorológicos recolhidos na estação meteorológica automática Gago Coutinho.

4.1.2. Avaliação da Qualidade do Ar

As estações de monitorização da rede de monitorização Lisboa e Vale do Tejo (RMLVT) escolhidas para análise foram a Avenida da Liberdade, Entrecampos, Olivais e Restelo (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Localização das estações de monitorização da cidade de Lisboa consideradas neste estudo (APA, 2012 b).

As quatro estações consideradas neste estudo estão caracterizadas na Tabela 4.1, onde se refere a sua localização, designação, o tipo de estação em termos de ambiente e influência, o início de funcionamento e o tipo de poluentes que monitorizam.

Tabela 4.1 – Caracterização de algumas das estações monitorização de qualidade do ar da RMLVT.

| Zona | Estação | Tipo de Ambiente | Tipo de Influência | Data início de funcionamento | Poluentes | Observações |
|------------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------------------|--|---|
| AML Norte | Olivais | Urbana | Fundo | 01-03-1992 | PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , NO _x e CO | Monitorização das PM _{2,5} teve início em 17-01-2004 |
| AML Norte | Restelo | Urbana | Fundo | 20-02-2002 | PM ₁₀ , NO ₂ , NO _x e CO | Monitorização das PM ₁₀ teve início em 12-09-2006 |
| AML Norte | Entrecampos | Urbana | Tráfego | 01-03-1992 | PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , NO _x e CO | Monitorização das PM _{2,5} teve início em 09-03-2003 |
| AML Norte | Avenida da Liberdade | Urbana | Tráfego | 01-01-1994 | PM ₁₀ , NO ₂ , NO _x e CO | |

Este trabalho tem como base os dados de qualidade do ar validados obtidos entre os anos de 2001 e 2011 extraídos da base de *Dados Online do QualAR da Agência Portuguesa do Ambiente* (APA, 2012 c). Foram recolhidos os dados horários referentes aos poluentes: PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, NO_x e CO. Estes dados foram submetidos a análises estatísticas tendo sido nomeadamente calculadas as médias anuais para todos os poluentes.

Recorrendo ao Microsoft Office Excel, foram calculadas as médias dos máximos horários anuais e médias dos máximos diários anuais para as partículas PM₁₀ e NO₂, respetivamente. Para o CO calculou-se a média móvel octo-horária. Para análise do cumprimento dos valores limite legais foi calculado o número de excedências ao valor limite anual e diário para as PM₁₀, anual e horário para o NO₂ e octo-horário para CO.

Para calcular das tendências das concentrações médias anuais dos poluentes usou-se o pacote *openair* do software *R* (King's College London, 2012). Este pacote contém funções destinadas à análise de dados de poluição do ar. Foram calculadas as tendências das concentrações médias anuais por estação do ano e por dia da semana. Procedeu-se ainda ao cálculo dos rácios $PM_{2,5}/PM_{10}$ e NO_2/NO_x e à construção das rosas de poluição referentes às médias dos rácios.

Realizou-se a análise das tendências das concentrações médias anuais tendo em conta o comportamento geral do tráfego rodoviário nas cidades e os parâmetros meteorológicos que influenciam a qualidade do ar urbano. As rosas de poluição foram também alvo de análise de modo a compreender as fontes que, eventualmente, influenciam as estações de monitorização da qualidade do ar em estudo.

4.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos relativos ao período de 2001 - 2011, foram recolhidos na estação meteorológica automática Gago Coutinho, e disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, 2012). Foi recolhida a informação sobre velocidade e direção do vento, temperatura do ar, precipitação, humidade relativa e radiação solar, para os quais se apresentam resultados.

Na Figura 4.4 está representada a rosa de vento na qual se observam os ventos predominantes em Lisboa durante o período em estudo e qual velocidade do vento que é registada regularmente. Através desta figura é possível observar a predominância do vento da direção do quadrante noroeste.

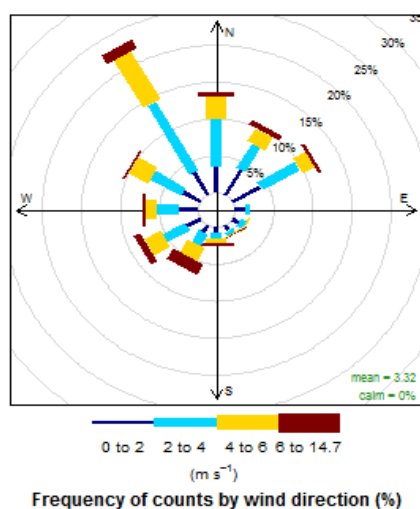


Figura 4.4 - Rosa dos ventos para o período de 2001 a 2011.

Nas Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 estão representados os valores médios anuais da velocidade do vento, temperatura, humidade relativa, precipitação e radiação solar registados durante os anos 2001 a 2011.

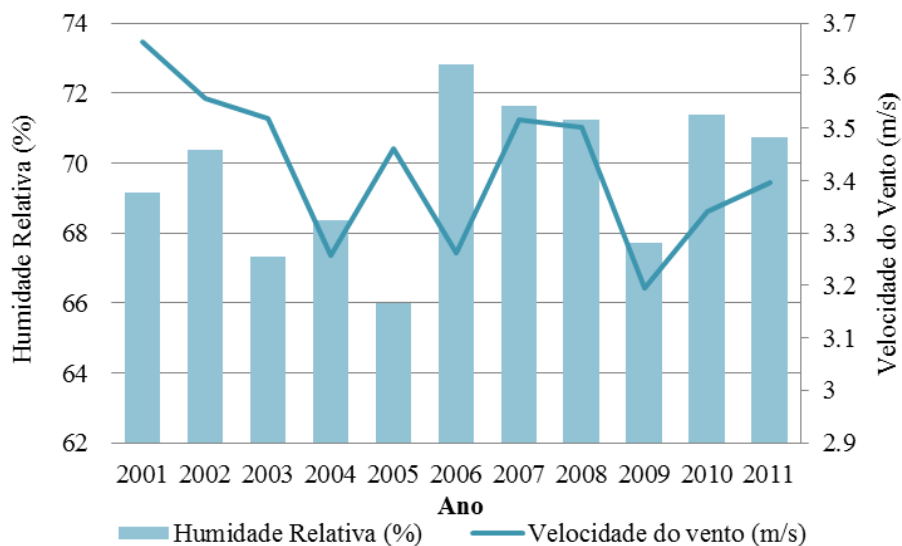


Figura 4.5 – Valores médios anuais de humidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) entre os anos 2001 e 2011.

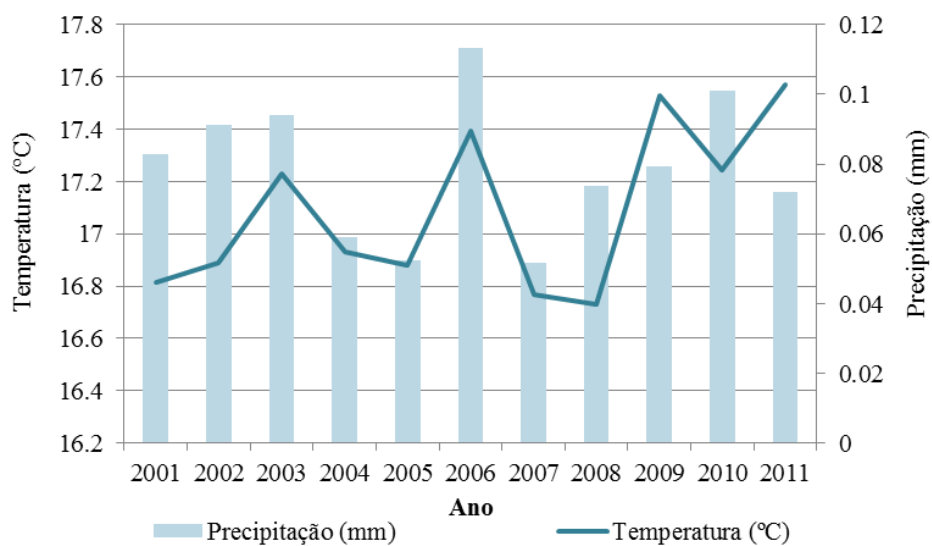


Figura 4.6 - Valores médios anuais de precipitação (mm) e temperatura (°C) entre os anos 2001 e 2011.

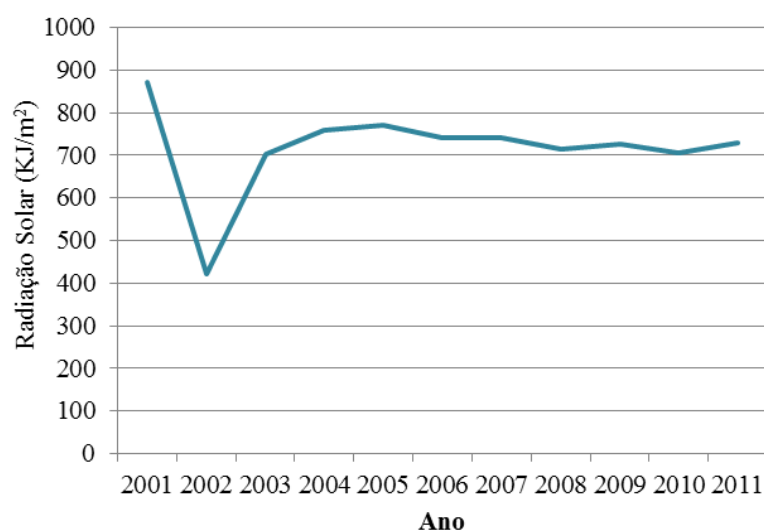


Figura 4.7 - Valores médios anuais de radiação solar (KJ/m^2) entre os anos 2001 e 2011.

A partir das figuras anteriores verifica-se que ao longo dos dez anos em estudo não existem alterações significativas nos valores médios anuais dos parâmetros meteorológicos, exceto no caso da precipitação que tende a aumentar ao longo dos anos.

No que diz respeito à radiação solar observa-se uma descida significativa devido à existência de falhas de dados por períodos maiores.

Através da Figura 4.8, podemos observar os valores médios anuais dos parâmetros meteorológicos por estação do ano.

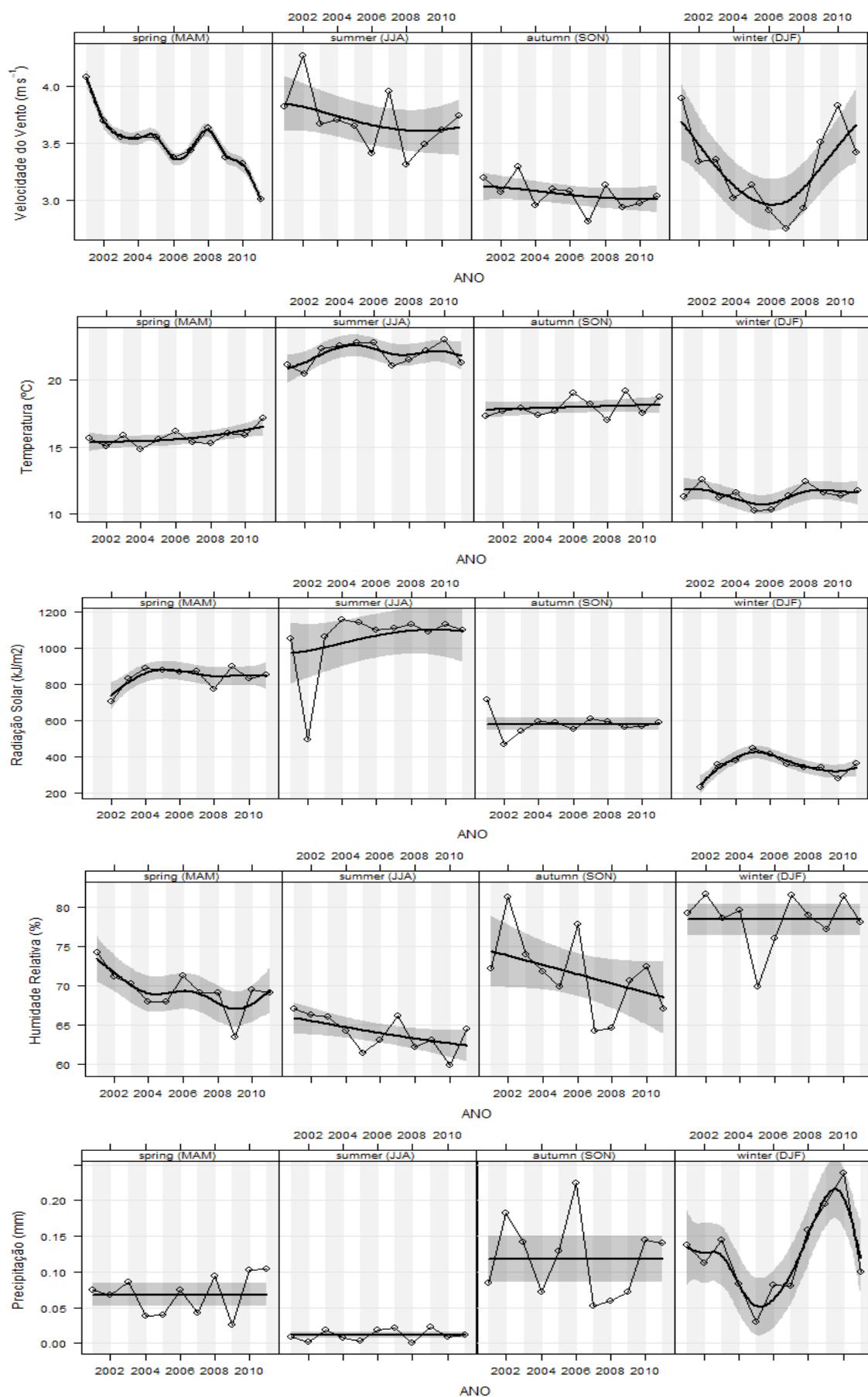


Figura 4.8 – Representação dos valores médios anuais de velocidade do vento (m/s), temperatura ($^{\circ}C$), radiação solar (KJ/m^2), humidade relativa (%) e precipitação (mm), por estação do ano.

De acordo com a Figura 4.8, podemos observar que, durante os anos em estudo, a temperatura e a radiação solar mais elevadas foram atingidas nos meses do Verão, contrariamente ao que acontece no Inverno. Os Verões mais quentes decorreram nos anos de 2006 e 2010 coincidindo com os anos em que as temperaturas no Inverno foram mais baixas. Podemos ainda constatar que a cidade de Lisboa pode ser caracterizada por um verão com temperaturas médias anuais que não ultrapassam os 25 °C e um Inverno com temperaturas médias anuais que frequentemente ficam abaixo do 15 °C.

Pode-se ainda verificar que a humidade relativa registada em cada estação do ano, apresenta uma variação contrária à temperatura no Verão e no Inverno. É de salientar que foi nos meses de Inverno, onde foram obtidas as maiores percentagens, ao contrário do Verão, onde foram obtidas percentagens mínimas que chegaram a atingir os 60%.

No que diz respeito aos valores de precipitação, estes são maiores no Outono e Inverno, como era de esperar.

Tendo em conta o comportamento dos parâmetros meteorológicos nas diferentes estações verifica-se existência de condições favoráveis à ocorrência de estabilidade atmosférica no Inverno. O facto de a temperatura e a radiação solar serem baixas no Inverno conduz ao arrefecimento da superfície terrestre que por sua vez impossibilita os movimentos verticais da atmosfera. Contudo, no Inverno existem dias de sol em que a radiação solar é maior relativamente aos dias sem sol, sendo esta condição favorável à diminuição da concentração dos poluentes.

4.3. Resultados /Discussão

4.3.1. Partículas – PM₁₀ e PM_{2,5}

As PM₁₀ são analisadas de acordo com as concentrações médias diárias e anuais. Na Figura 4.9 são apresentados os máximos diários por ano com o valor limite diário estabelecido para as PM₁₀ (50 µg/m³) e o número de excedências ao valor limite diário no período de 2001 a 2011, sendo que este número deverá ser menor ou igual a 35 dias por ano.

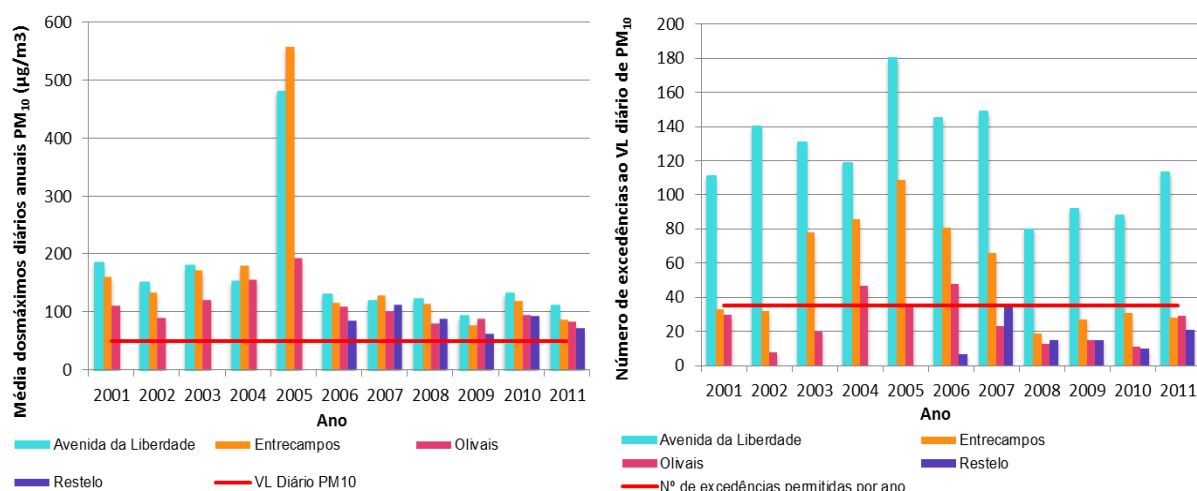


Figura 4.9 – Evolução das concentrações médias dos máximos diários anuais e excedências aos limites estabelecidos para PM₁₀ (valor limite diário) por ano.

Segundo a Figura 4.9, verificou-se ultrapassagens ao valor limite diário em todo o período temporal analisado e em todas as estações de monitorização. Relativamente ao número de excedências permitidas por ano, constata-se que este foi ultrapassado todos os anos mas só em algumas estações, nomeadamente na Avenida da Liberdade e em Entrecampos. Verifica-se ainda que no período de 2007 a 2011, houve somente ultrapassagem do número limite de excedências na estação da Avenida da Liberdade.

A Figura 4.10 representa as médias anuais de PM₁₀ e valor limite anual definido como 40 µg/m³ por ano.

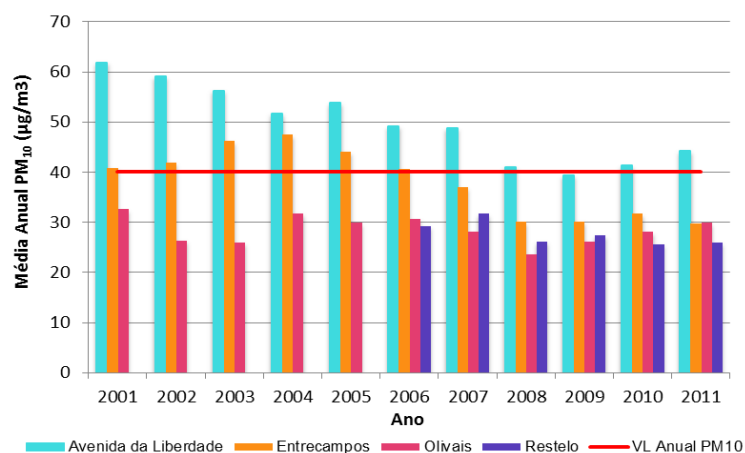


Figura 4.10 - Evolução das concentrações médias anuais e limites estabelecidos para PM₁₀ (valor limite anual).

Da observação da Figura 4.10, constata-se que, em todos os anos com exceção do ano 2009, foram verificadas ultrapassagens do valor limite anual, pelo menos numa estação. As estações Avenida de Liberdade e Entrecampos foram as únicas onde se verificaram ultrapassagens do valor limite; contudo, em Entrecampos, este facto só se verificou no período de 2001 a 2006.

Na Figura 4.11 estão apresentadas as concentrações médias mensais das PM_{10} e as respetivas tendências ao longo do período de estudo para a estação da Avenida da Liberdade.

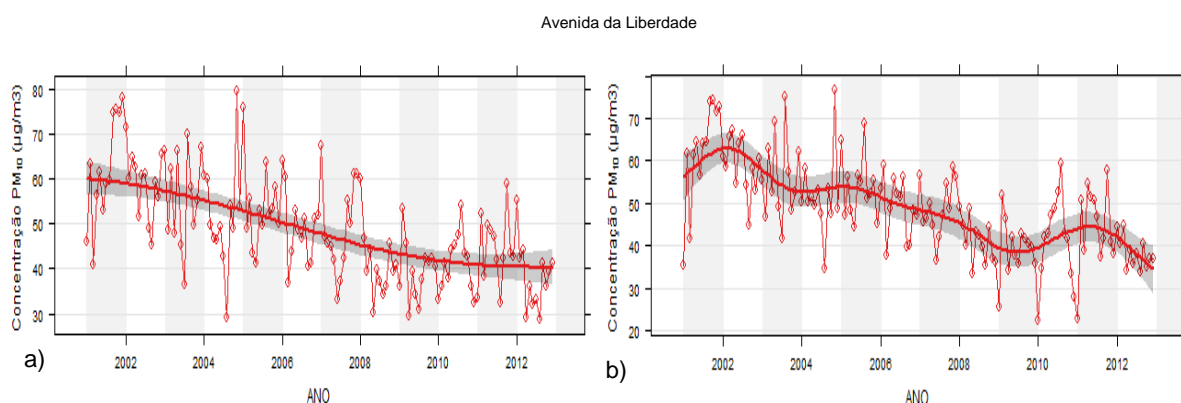


Figura 4.11 – Representação das concentrações médias mensais de PM_{10} e linha de tendência com sazonalidade a) e sem sazonalidade b) ao longo dos anos em estudo.

Através da figura anterior é possível observar a diferença entre a tendência com ciclo sazonal (Figura 4.11a) e sem ciclo sazonal (Figura 4.11b). A remoção do ciclo sazonal para o cálculo de tendências permite observar com maior clareza a tendência das concentrações ao longo do ano. Na Figura 4.11 a) observa-se uma tendência suave para a redução das concentrações de PM_{10} . No entanto, após análise da tendência apresentada na Figura 4.11 b), constata-se uma tendência negativa nos anos 2001 e 2010 e uma tendência negativa significativa no período 2002 a 2004 e ano 2011, contrariamente ao que é apresentado na Figura 4.11 a).

Tendo-se detetado este facto, consideram-se as análises de tendências em que se remove o ciclo sazonal. Desta forma elimina-se a influência das variações de temperatura, radiações e outros parâmetros meteorológicos que influenciam as concentrações de poluentes atmosféricos permitindo, eventualmente, fazer ressaltar outro tipo de influências nas concentrações, como sejam, por exemplo, alterações nas emissões de poluentes.

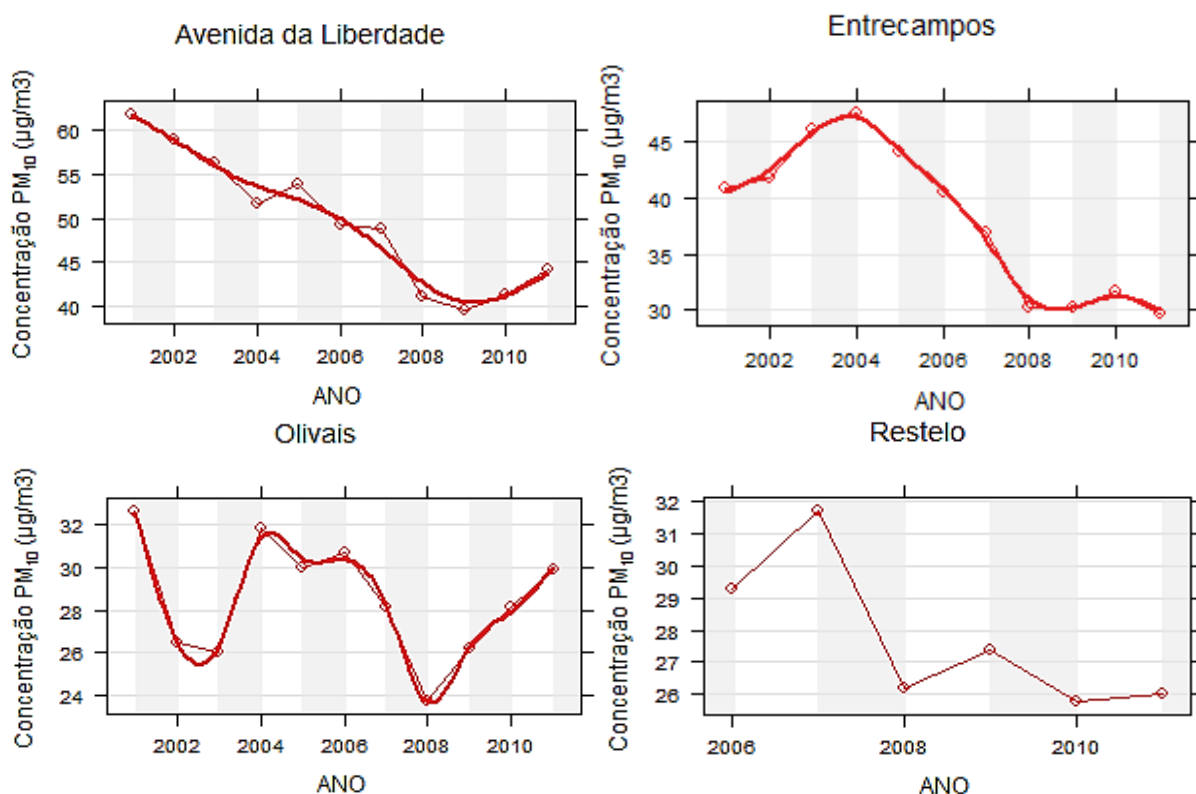


Figura 4.12 – Concentrações médias anuais de PM₁₀ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

As estações de monitorização de tráfego (Avenida da Liberdade e Entrecampos) apresentam uma tendência decrescente das concentrações médias anuais das PM₁₀, verificando-se as maiores amplitudes das concentrações nestas mesmas estações. Em relação às estações de fundo em estudo, a estação de monitorização dos Olivais não apresenta uma tendência clara; no entanto a estação do Restelo mostra no geral uma tendência negativa a partir do ano de 2007, o ano subsequente início da monitorização de PM₁₀ nesta estação.

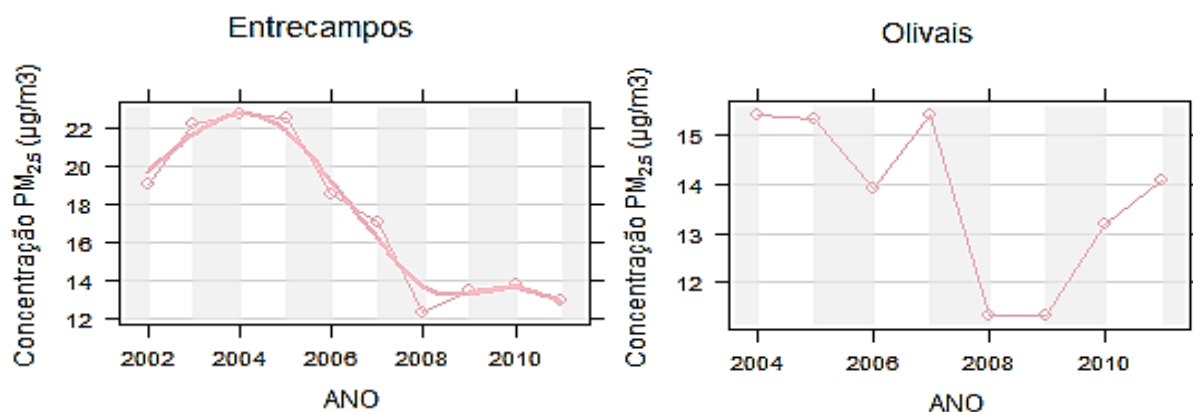


Figura 4.13 - Representação das concentrações médias anuais de PM_{2.5} e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para as estações de monitorização de Entrecampos e Olivais.

Das estações de monitorização em estudo somente Entrecampos e Olivais realizam a monitorização as PM_{2.5}, tendo esta tido início no ano 2004. Devido ao número reduzido de anos para avaliação das tendências de concentração de PM_{2.5}, não se verifica uma tendência clara nas concentrações médias anuais das PM_{2.5}; no entanto observa-se uma diminuição das concentrações no ano 2008 sendo esta mais significativa na estação de Entrecampos.

As maiores amplitudes das concentrações de PM₁₀ e PM_{2.5} são registadas nas estações de tráfego (Avenida da Liberdade e Entrecampos) evidenciando o contributo do tráfego rodoviário para concentrações destes poluentes nas cidades.

Os padrões diários apresentados no Anexo 8.1, da evolução das concentrações de PM₁₀ nas estações de tráfego, ao longo do período de estudo apresentam diferenças entre os dias úteis e o fim de semana, evidenciando o contributo do tráfego automóvel para concentrações de PM₁₀ nas cidades.

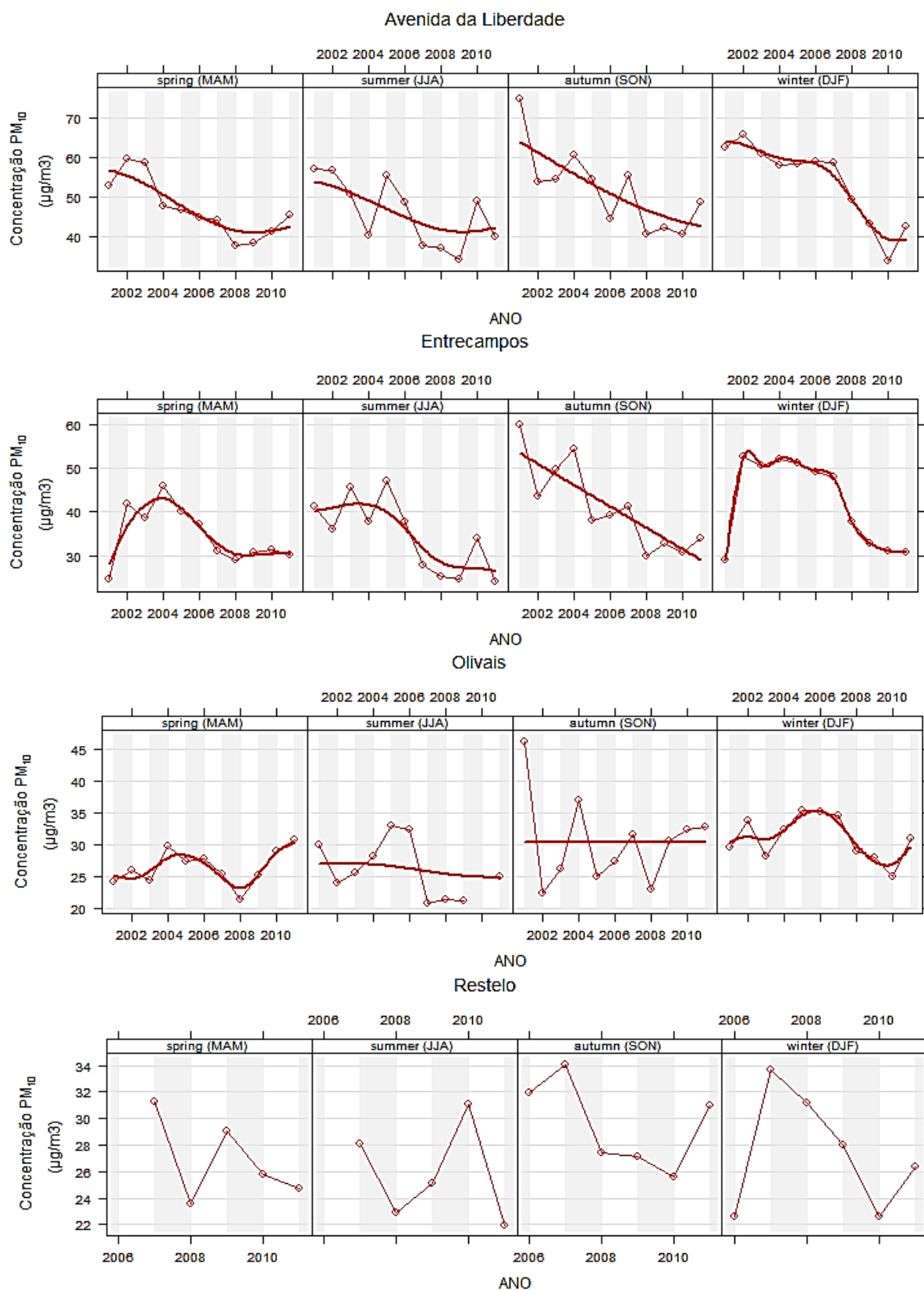


Figura 4.14 – Padrão sazonal das concentrações médias anuais de PM₁₀ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

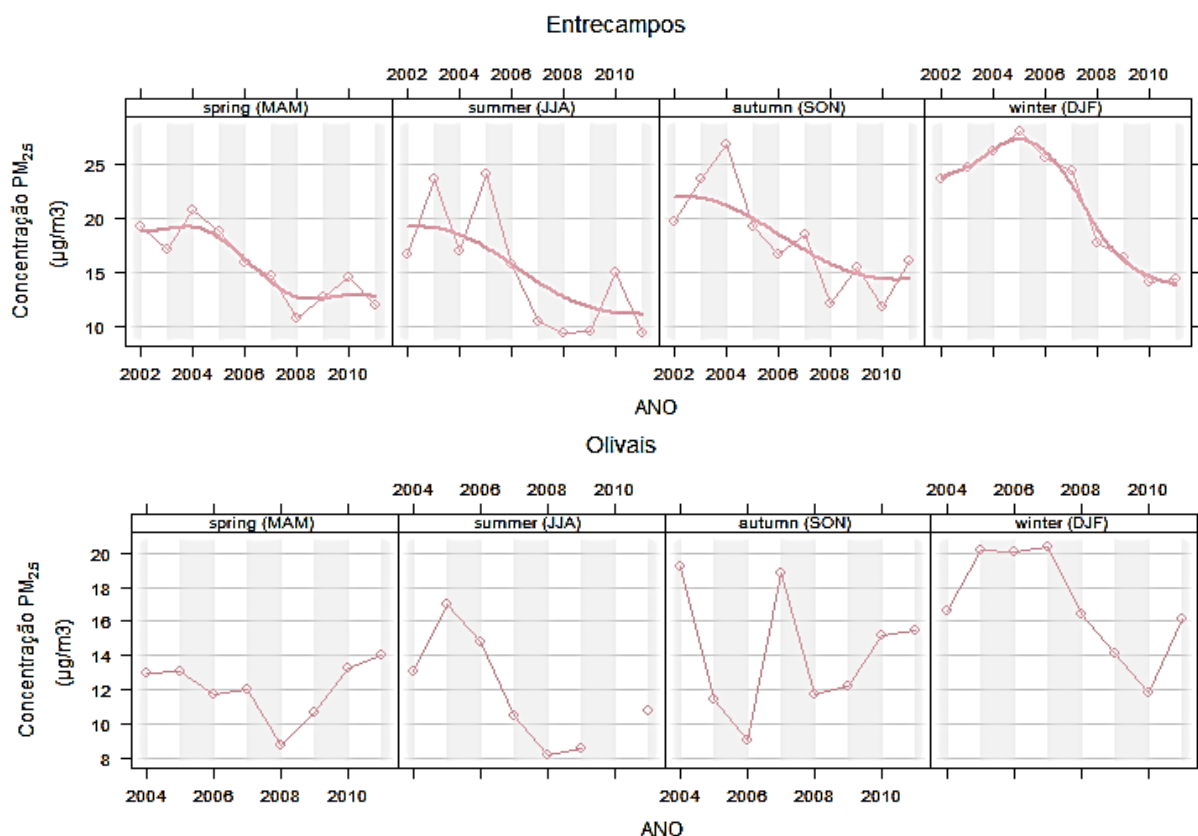


Figura 4.15 - Padrão sazonal das concentrações médias anuais de $PM_{2.5}$ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para as estações de monitorização de Entrecampos e Olivais.

A variação sazonal das médias anuais das concentrações de PM_{10} e $PM_{2.5}$ mostra que as concentrações mais elevadas destes poluentes são registadas no Outono e Inverno (Figura 4.14 e Figura 4.15). Nestas estações do ano, principalmente no Inverno, ocorrem fenómenos de estabilidade atmosférica. Na medida em que a estabilidade atmosférica diminui a dispersão dos poluentes, tal justifica as elevadas concentrações registadas. De 2006 a 2010, no Inverno observou-se uma diminuição da concentração de PM_{10} e $PM_{2.5}$, coincidindo com o aumento de precipitação registado nestes mesmos anos.

4.3.2. $PM_{2.5}$ versus PM_{10}

O rácio $PM_{2.5}/PM_{10}$ indica a proporção entre as partículas finas e grosseiras. Quanto maior o rácio, maior será o contributo dos processos de combustão (queima de biomassa e de combustíveis fósseis) para o aumento da proporção de $PM_{2.5}$. Quando a proporção de PM_{10} é maior, os valores dos rácios diminuem indicando que o contributo dos processos mecânicos (erosão do solo, ressuspensão de

partículas das estradas, processos de construção civil e transporte de poeiras), do spray marinho ou do pólen da Primavera, é maior (Baptista, 2008).

Na Figura 4.16 está representada a rosa de poluição referente à média do rácio $PM_{2,5}/PM_{10}$ para as estações de monitorização de Entrecampos (estação de tráfego) e Olivais (estação de fundo).

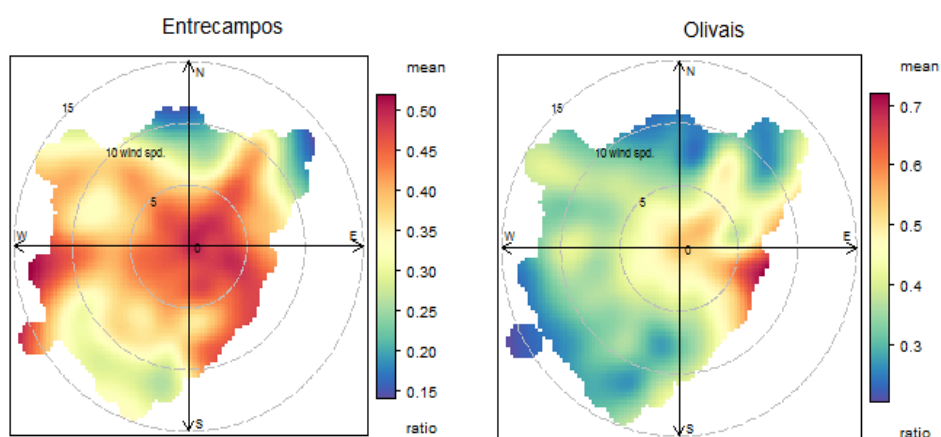


Figura 4.16 - Rosas de poluição do rácio $PM_{2,5}/PM_{10}$ referentes aos anos em estudo, para a estação de monitorização de Entrecampos e Olivais.

Na estação de Entrecampos verifica-se a predominância dos rácios com valores aproximadamente de 0,5. Este facto traduz que a influência maioritária do tráfego rodoviário nesta estação é através da ressuspensão de partículas nas estradas circundantes. Nesta estação a proporção de PM_{10} é maior quando a velocidade do vento aumenta, evidenciando o transporte de partículas grosseiras provenientes de fontes localizadas a maiores distâncias do local da estação, provavelmente de origem natural.

Relativamente à estação dos Olivais verifica-se a predominância de rácios com valores mais baixos. À medida que a velocidade do vento aumenta a estação é influenciada por fontes de partículas grosseiras justificando os baixos rácios verificados. Quando os ventos advêm de Este, verifica-se um rácio elevado, indicando a existência de fontes com processos de combustão localizada a Este da estação dos Olivais.

Para estas duas estações a proporção de partículas grosseiras é maior. Os valores da correlação de *Pearson* $PM_{2,5}$ versus PM_{10} para as estações de Entrecampos e Olivais são de 0,9 e 0,85, respetivamente. O facto de estes valores estarem próximos de 1, indica que as $PM_{2,5}$ e as PM_{10} poderão ter fontes ou processos de formação comuns.

4.3.3. Óxidos de Azoto – NO₂ e NO_x

Para o NO₂ a legislação define a médias horárias e anuais com alvo de estudo, com o objetivo da proteção da saúde humana. Na Figura 4.17 estão representados os máximos horários, o valor limite definido para o NO₂ (200 µg/m³) e o número de excedências para o valor limite horário que não deve ser ultrapassado 18 vezes por ano.

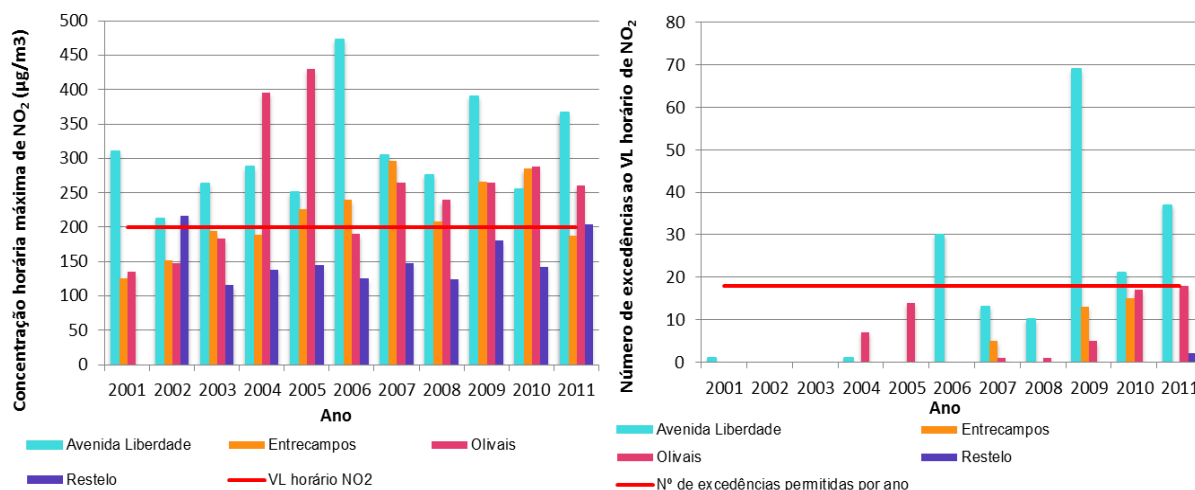


Figura 4.17 - Evolução das concentrações médias dos máximos horários e excedências aos limites estabelecidos para NO₂ (valor limite horário) por ano.

Durante todo o período em análise o valor limite horário foi sistematicamente ultrapassado em pelo menos uma estação de monitorização, tendo-se ultrapassagens em todos os anos apenas na Avenida da Liberdade. Entrecampos e Olivais são as estações que apresentam o maior número de anos onde foram registados valores superiores ao valor limite definido na legislação. Relativamente à análise do número de excedências permitidas por ano, constata-se a ultrapassagem do número de excedências, entre o período de 2006 a 2011, unicamente na estação da Avenida da Liberdade.

Na Figura 4.18 estão representadas as médias anuais de NO₂ e o valor limite anual de 40 µg/m³ para o período temporal em análise.

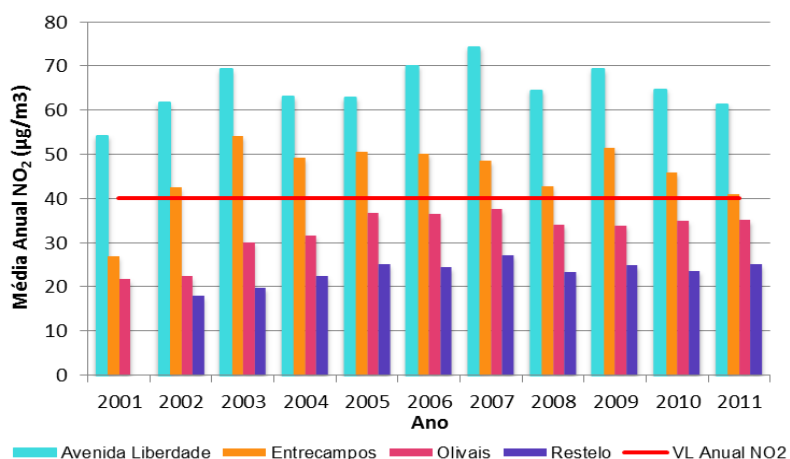


Figura 4.18 - Evolução das concentrações médias anuais e valor-limites estabelecidos para NO₂ (valor limite anual).

Verifica-se que foram registadas excedências ao valor limite anual em todos os anos analisados apenas nas estações de monitorização da Avenida da Liberdade e Entrecampos. No ano de 2001 foi apenas registadas excedências ao valor limite anual legislado na estação da Avenida da Liberdade.

A Figura 4.19 mostra a variação das concentrações médias anuais de NO₂ das estações monitorização de tráfego (Avenida da Liberdade e Entrecampos) e de fundo (Olivais e Restelo).

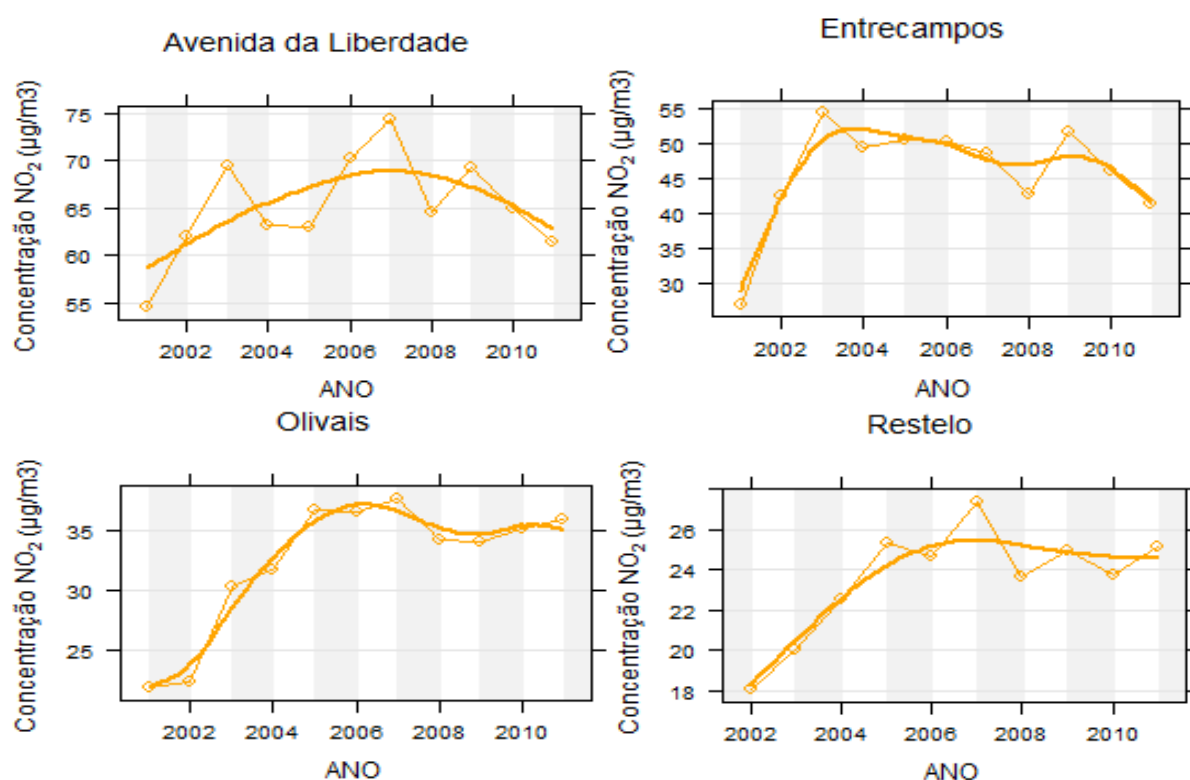


Figura 4.19 - Concentrações médias anuais de NO₂ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

As concentrações de NO₂ mais elevadas foram registadas nas estações de tráfego, no entanto, as tendências apresentadas por estas estações são diferentes. Na estação de Entrecampos a tendência positiva apresentada pelas concentrações médias anuais de NO₂ no período de 2001-2003 é bastante significativa.

As estações de fundo (Olivais e Restelo) apresentam uma clara tendência positiva das concentrações de NO₂ nos primeiros anos, seguida de um período de concentrações mais estáveis em 2006 a 2011 (Figura 4.19).

Na Figura 4.20 é apresentada a evolução das concentrações médias anuais de NO_x ao longo do período em estudo. No entanto, a monitorização do NO_x nas estações de monitorização de qualidade do ar teve início no ano de 2004, sendo somente apresentados dados a partir deste ano.

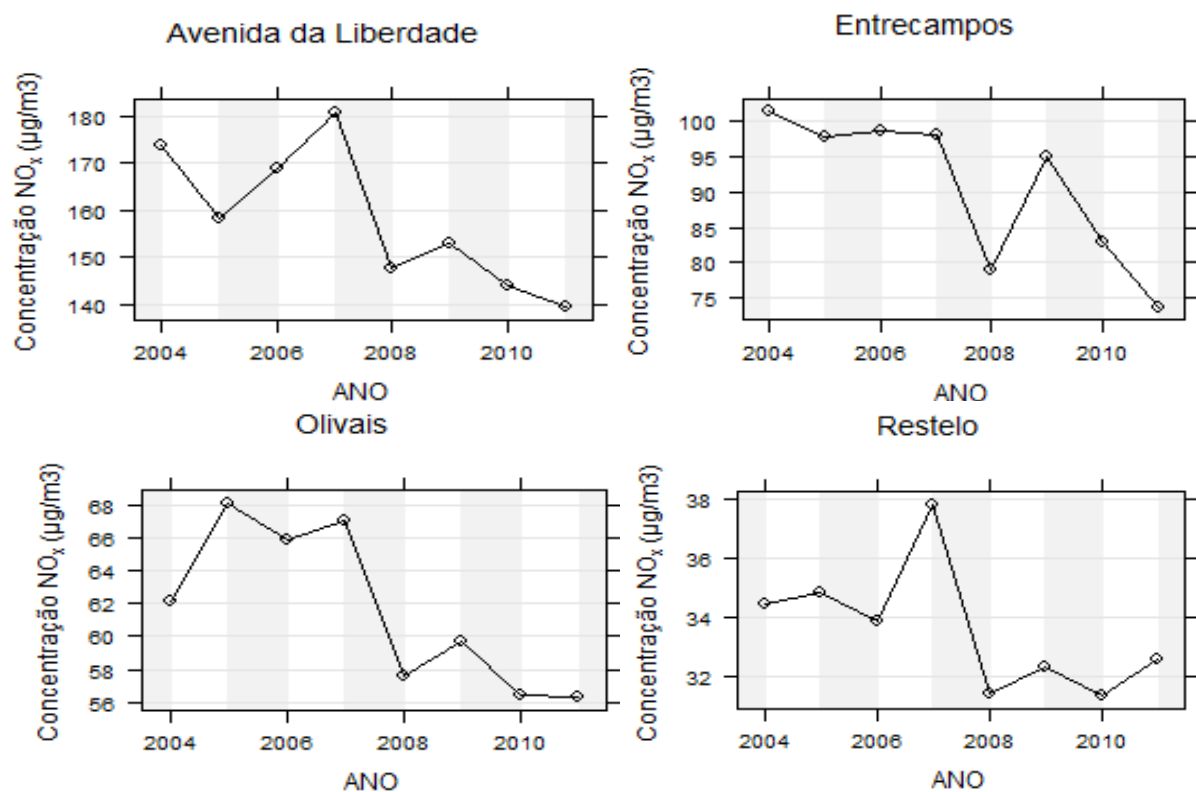


Figura 4.20 - Concentrações médias anuais de NO_x ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

A contribuição das emissões provenientes do tráfego automóvel nas concentrações de NO_x, pode ser fundamentada através da análise da Figura 4.20. As concentrações médias anuais de NO_x apresentam no geral uma redução em todas as estações de monitorização. A descida significativa das concentrações de NO_x em 2008 coincide com os valores máximos atingidos relativamente ao preço dos combustíveis (Anexo 8.2). Este facto poderá ter conduzido à diminuição do uso do automóvel na cidade de Lisboa.

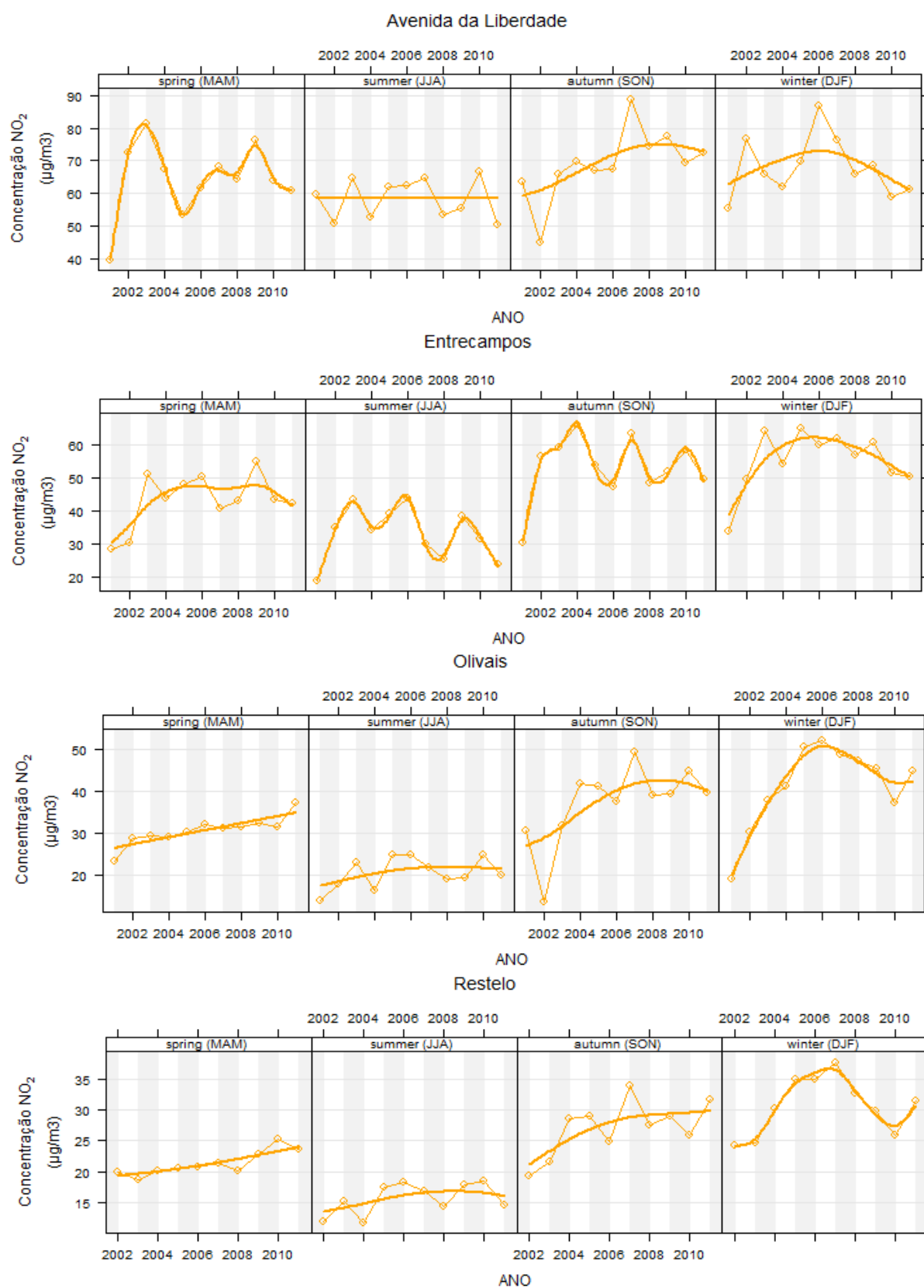


Figura 4.21 - Padrão sazonal das concentrações médias anuais de NO₂ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

As concentrações mais baixas de NO_2 são registadas no Verão, coincidindo com condições de instabilidade atmosférica e velocidades do vento que surgem nesta estação do ano. Estas condições conduzem a um aumento da dispersão de poluentes.

Por outro lado, por existir uma menor intensidade da radiação solar no Inverno, o consumo fotoquímico de NO_2 é menos intenso, conduzindo a concentrações mais elevadas nesta estação do ano, ao contrário do que acontece no período de Verão.

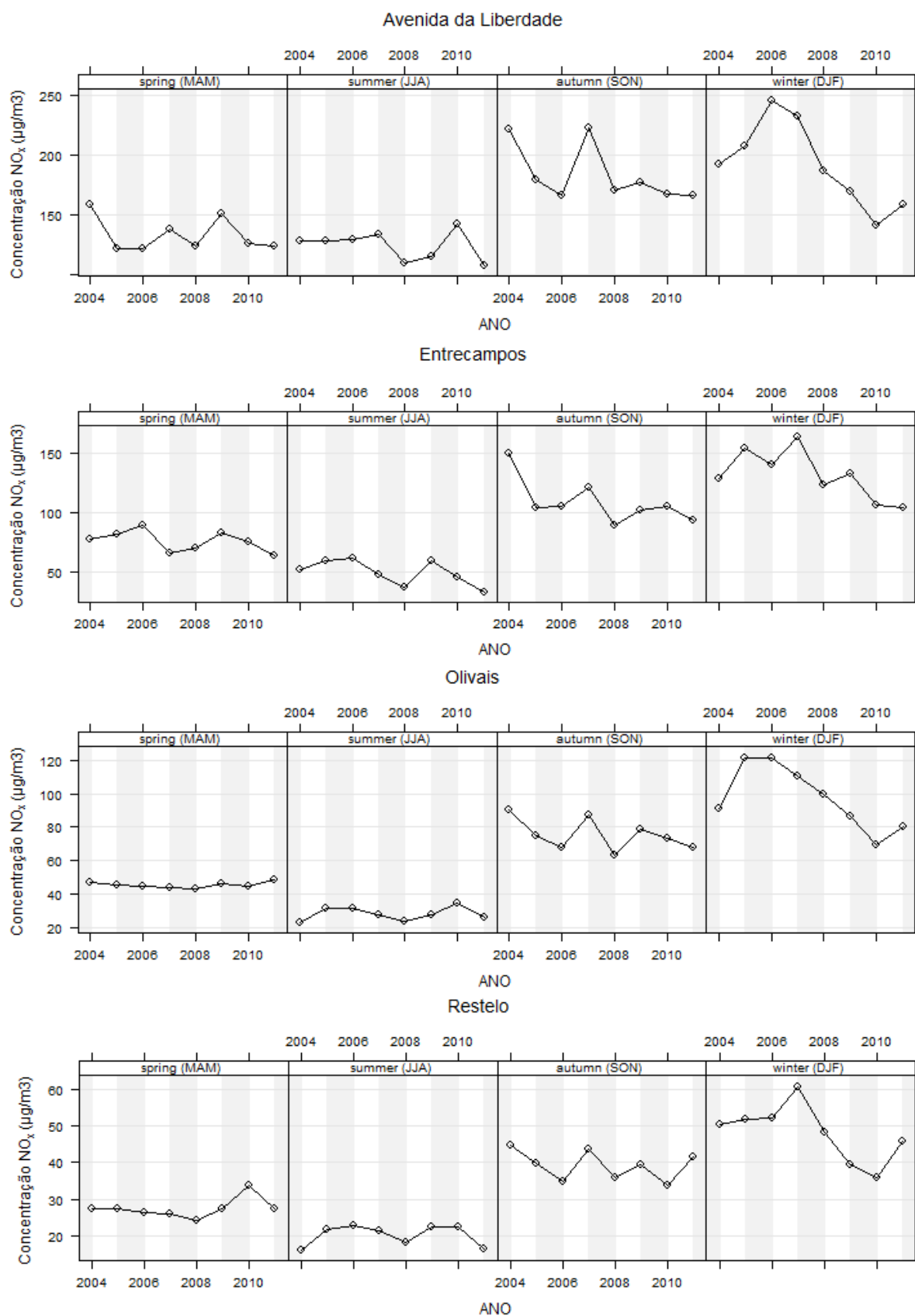


Figura 4.22 - Padrão sazonal das concentrações médias anuais de NO_x ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

Como era de esperar o comportamento das concentrações de NO_x é semelhante ao comportamento das concentrações de NO_2 . As concentrações mais elevadas foram registadas no Outono e Inverno, estações do ano em que a dispersão vertical é menor e onde ocorrem inversões de temperatura.

Relativamente aos padrões diários (Anexo 8.1), de variação das concentrações de NO_2 e NO_x nas estações de monitorização em estudo, ao longo do período de estudo apresentam diferenças significativas entre os dias úteis e o fim de semana. Este facto evidencia o contributo do tráfego automóvel para as concentrações destes poluentes nas cidades.

4.3.4. NO_2 versus NO_x

Os NO_x são emitidos por processos de combustão, maioritariamente na forma de NO que é oxidado formando NO_2 . Quanto maior o rácio NO_2/NO_x , maior é a fração de NO_2 ; no entanto quando o valor do rácio se aproxima 1 indica que grande parte do NO existente no ar convertido em NO_2 .

O rácio NO_2/NO_x aumenta com o aumento da distância da fonte de emissão (Scholz, et al., 2006). Através da análise das rosas de poluição referentes as médias do rácio NO_2/NO_x é possível localizar os sectores onde se localizam as eventuais fontes que influenciam as concentrações de NO_x medidas nas estações de monitorização de qualidade do ar.

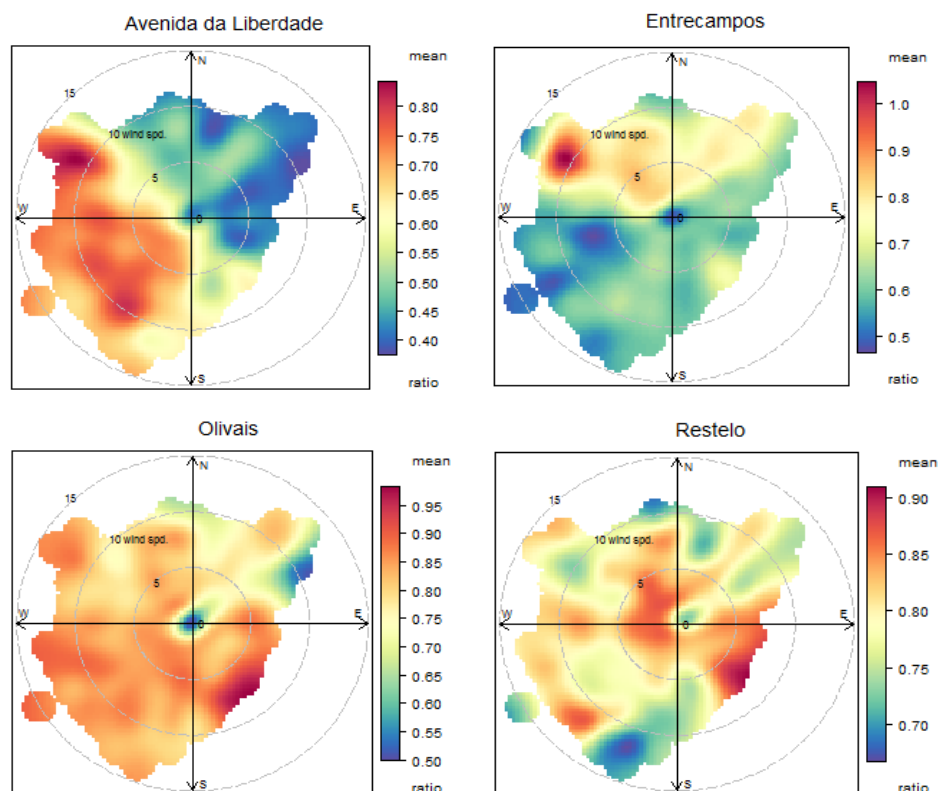


Figura 4.23- Rosas de poluição do rácio NO_2/NO_x referentes aos anos em estudo, para cada estação de monitorização.

Na rosa de poluição da Avenida da Liberdade, os rácios elevados provenientes de Noroeste indicam o contributo do intenso tráfego da rotunda do Marquês de Pombal nas concentrações de NO_x . O NO emitido pelos veículos é oxidado durante o transporte e chega à estação de monitorização na forma de NO_2 . Quando ocorrem ventos de Este e Sudeste evidencia a contribuição da Avenida da Liberdade nos valores elevados do rácio registados (Figura 4.23).

Relativamente à média do rácio NO_2/NO_x nas estações de fundo (Olivais e Restelo), esta é elevada evidenciando o facto de o rácio aumentar com a distância da fonte. Na proximidade destas estações não existem vias de tráfego intenso, que nas cidades como Lisboa são principais fontes de NO e NO_2 .

A estação de Entrecampos está localizada numa zona com intensa circulação rodoviária, no entanto os maiores rácios são registados quando ocorrem ventos de Noroeste e Nordeste. A Noroeste da estação está localizada a 2ª Circular e Eixo Norte-Sul sendo uma possível razão da existência de rácios elevados aquando da ocorrência de ventos provenientes desta direção que transportam o NO e NO_2 até Entrecampos.

4.3.5. Monóxido de Carbono – CO

A abordagem definida pela legislação para o CO considera como parâmetro de análise as médias móveis octo-horárias. Assim, na Figura 4.24, encontram-se representadas as médias móveis octo-horárias de CO, assim como o valor limite octo-horário (10 mg/m^3) estabelecido para a proteção da saúde humana.

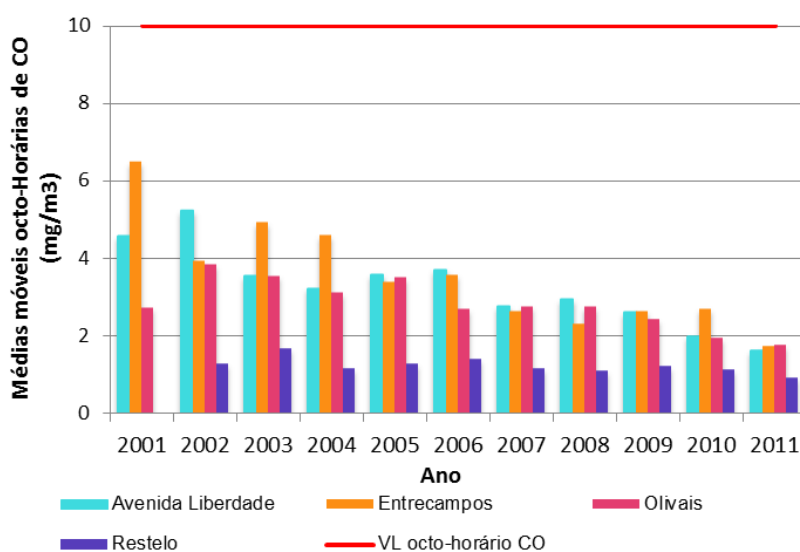


Figura 4.24 - Evolução das concentrações médias móveis octo-horárias e limites estabelecidos para CO (valor limite octo-horário).

A análise do cumprimento da legislação através dos dados apresentados na Figura 4.24, mostra que não existem concentrações superiores ao valor limite nas estações em estudo, no período de 2001 a 2011.

A Figura 4.25 apresenta a evolução temporal das concentrações médias anuais de CO nas estações de monitorização em estudo, no período de 2001 a 2011.

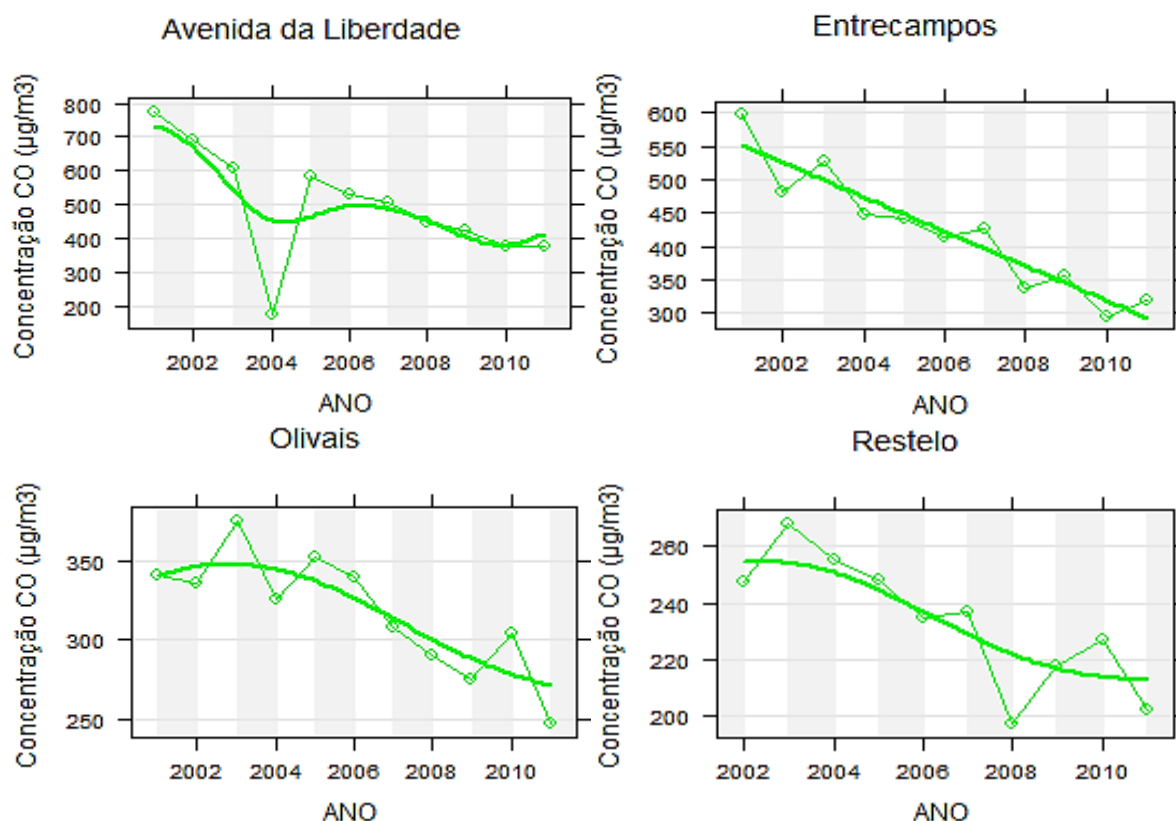


Figura 4.25 - Concentrações médias anuais de CO e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

Observa-se na Figura 4.25 acima uma tendência negativa das concentrações de monóxido de carbono em todas as estações de monitorização. No entanto, no período de 2004 a 2006 e no ano de 2010 verifica-se uma tendência positiva das concentrações, na estação da Avenida da Liberdade.

Das estações apresentadas, as estações de tráfego, Avenida da Liberdade e Entrecampos, são as que atingiram concentrações mais elevadas, evidenciando a contribuição das emissões automóveis para o aumento das concentrações de CO. Este facto pode também ser observado através da análise das concentrações de CO ao longo dos dias da semana. Os fins de semana são os dias onde foram registadas as concentrações mais baixas, sendo esta situação notada com maior clareza nas estações de Entrecampos e Olivais como se pode constatar no Anexo 8.1.

Tendo em conta estes factos, a renovação do parque automóvel ao longo dos anos poderá ter contribuído para a diminuição das concentrações de CO na cidade de Lisboa nos últimos dez anos.

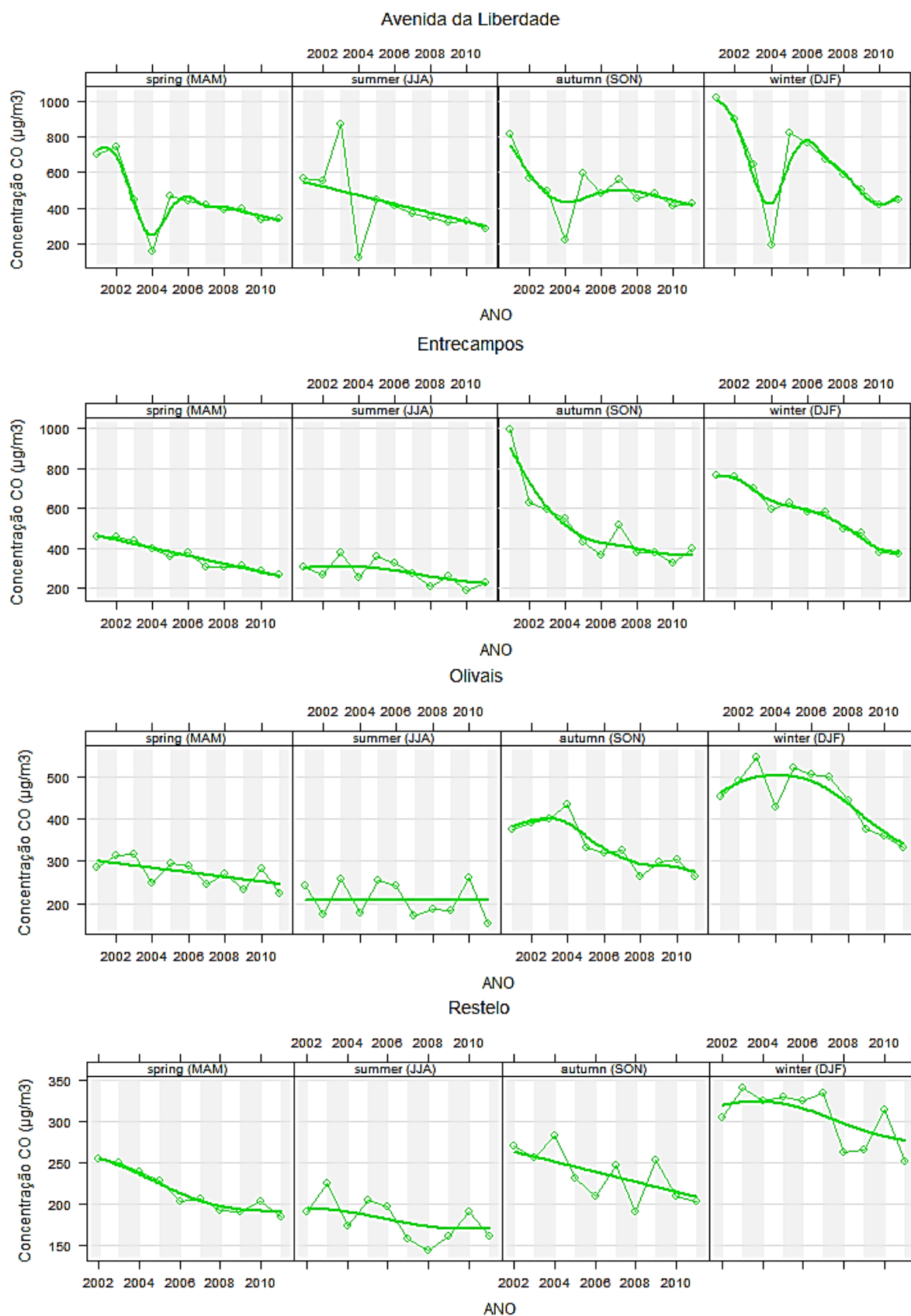


Figura 4.26 - Padrão sazonal das concentrações médias anuais de CO e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

O CO demonstra um comportamento sazonal, verificando-se as concentrações mais elevadas nos meses de Outono e Inverno, em todo o período em estudo. Este facto é verificado em todas as estações de monitorização de qualidade do ar em estudo, como mostra a Figura 4.26.

Atendendo a que o fluxo médio de tráfego não difere substancialmente entre o Inverno e o Verão, esta diferença de concentrações dever-se-á possivelmente, às condições meteorológicas. Tendo em conta o referido anteriormente, no Outono e Inverno existe possivelmente acumulação de poluentes. Tal dever-se-á à estabilidade atmosférica existente nos meses de Outono e Inverno, que condiciona a dispersão de poluentes. Contudo, o CO apresenta claramente uma diminuição das suas concentrações no Verão, começando a decrescer na Primavera. Este facto indica um consumo deste poluente no Verão, eventualmente por via fotoquímica.

5. AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DAS ZONAS DE EMISSÕES REDUZIDAS

5.1. Metodologia

A implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa foi uma das medidas definidas com o objetivo de diminuir as concentrações dos poluentes emitidos pelo tráfego rodoviário.

5.1.1. Enquadramento

Nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 estão representadas de forma esquemática as três etapas da metodologia seguida para a avaliação da implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa.

- Metodologia de recolha de dados referentes ao período após a implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa (ano 2012)

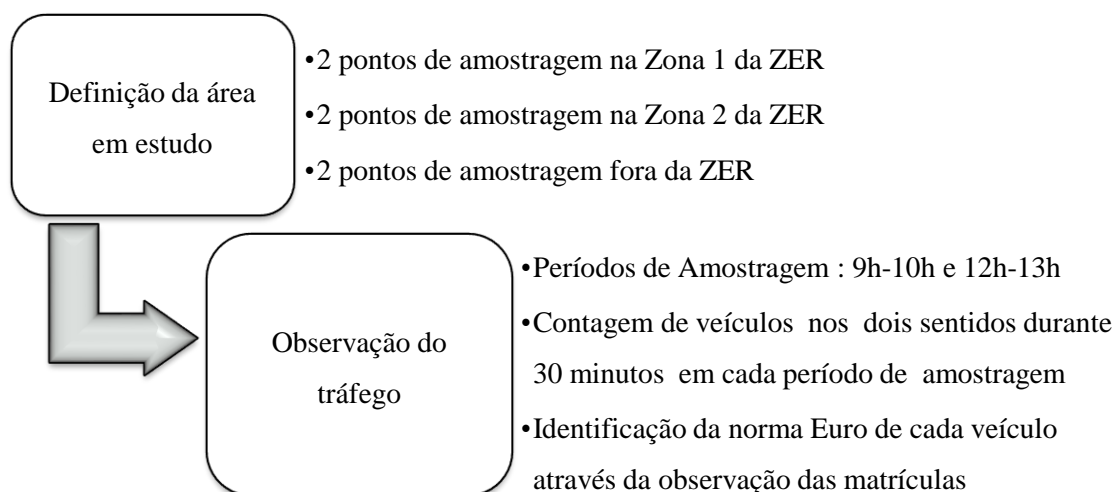


Figura 5.1 - Representação esquemática da metodologia seguida recolha de dados referentes ao período após a implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa (ano 2012).

- Metodologia para determinação e análise da tipologia e da norma Euro dos veículos que circulam na Zona 1 e 2 da ZER e fora da zona ZER.

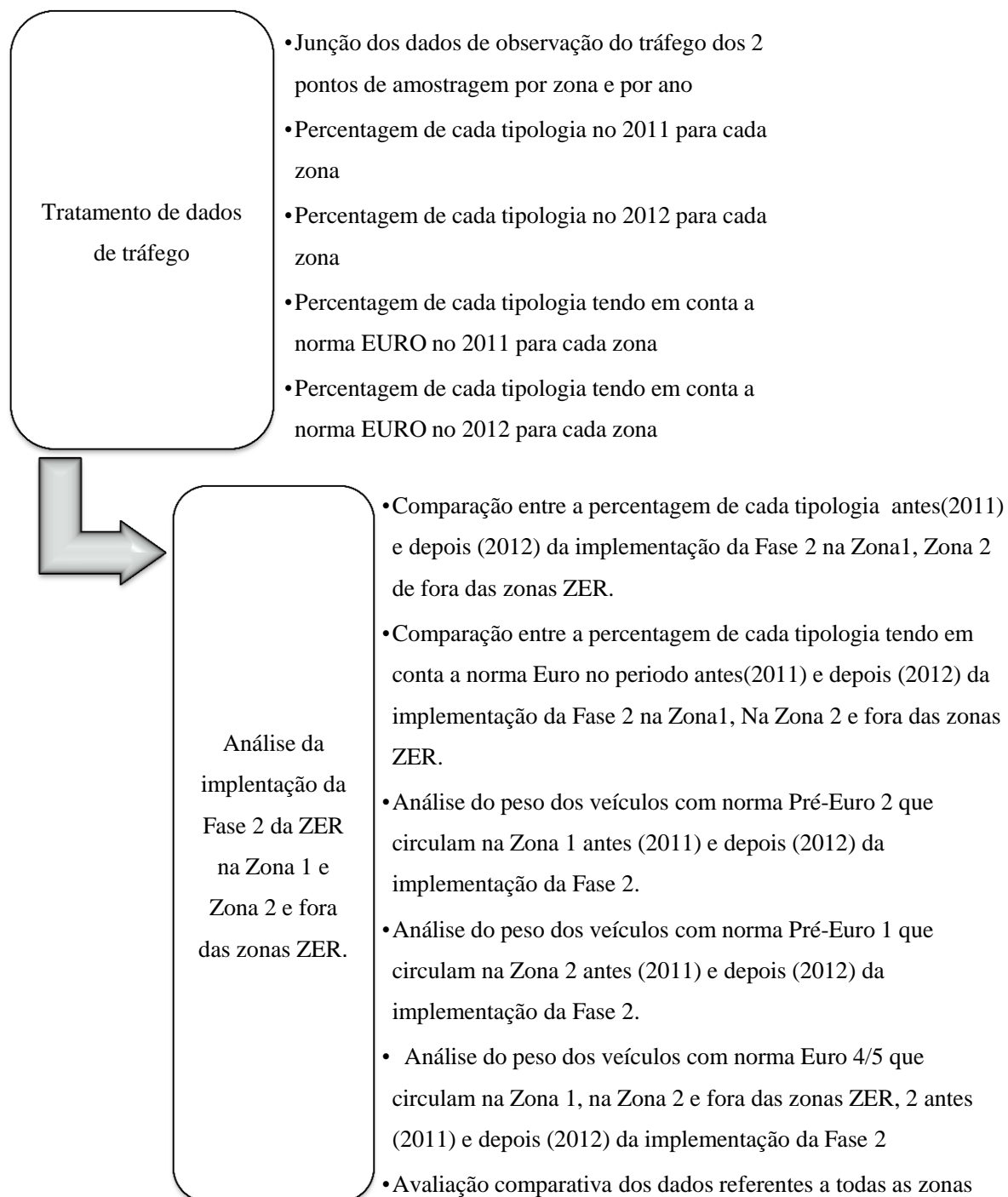


Figura 5.2 - Representação esquemática da metodologia seguida para determinação e análise da tipologia e da norma Euro dos veículos que circulam na Zona 1 e 2 da ZER e fora da zona ZER.

- Metodologia de cálculo da redução de emissões de PM_{10} e NO_x na Avenida da Liberdade face à implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa.

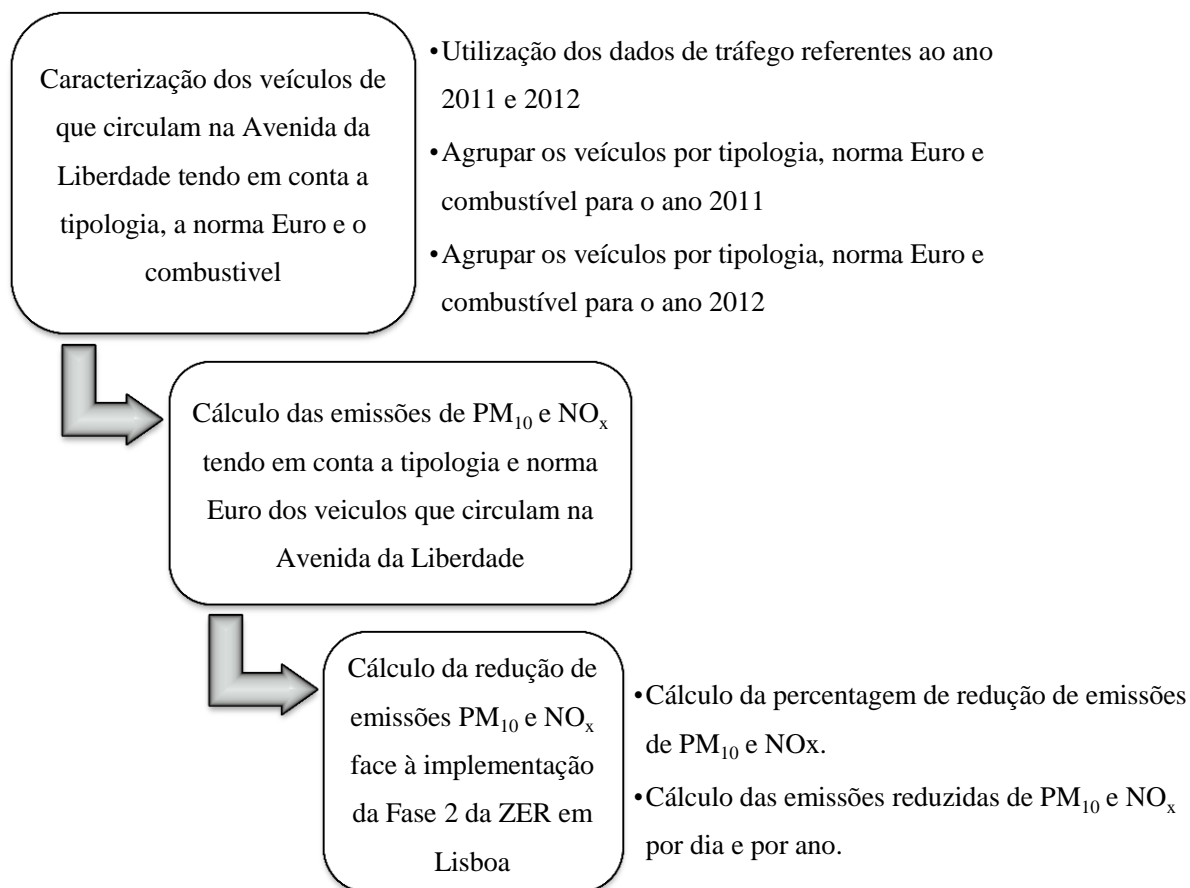


Figura 5.3 - Representação esquemática da metodologia seguida cálculo da redução de emissões de PM_{10} e NO_x na Avenida da Liberdade face à implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa.

5.1.2. Recolha de dados de tráfego referentes aos anos 2011 e 2012

De modo a realizar uma avaliação da implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa foram utilizados dados de tráfego referentes aos anos 2011 e 2012. Os dados de 2011 coincidem com o período antes da implementação da Fase 2 e os dados de 2012 com o período depois da implementação da Fase 2, sendo possível a avaliação da Fase 2 através da comparação dos dados dos dois anos.

Para a realização desta avaliação foi feita uma recolha de dados de tráfego através da observação do tráfego, baseada em contagens de veículos e identificação das normas euro através das matrículas. A recolha dos dados de tráfego foi realizada em dois pontos de amostragem em cada zona da ZER e fora

das zonas da ZER. Em cada ponto de amostragem a recolha de dados foi realizada em dois períodos em dias uteis, sendo estes entre as 9h-10h e as 12h-13h. Durante cada período realizou-se a contagem de veículos nos dois sentidos durante os primeiros 30 minutos, com o objetivo de determinar a tipologia de tráfego. Nos últimos 30 minutos realizou-se a identificação da norma Euro de cada veículo através da observação das matrículas.

No que diz respeito aos dados de tráfego referentes ao ano 2011, foram utilizados dados já existentes para os pontos de amostragem nas Zonas 1 e 2 da ZER e zonas fora da ZER.

Na Tabela 5.1, estão representados os pontos de amostragem onde foi realizada a recolha de dados em 2011 e 2012.

Tabela 5.1 – Localização dos pontos de amostragem utilizados para recolha de dados de tráfego

| | Ponto de Amostragem em 2011 | Ponto de Amostragem em 2012 |
|---------------------------|--|--|
| Zona 1 | Avenida da Liberdade | Avenida da Liberdade Restauradores |
| Zona 2 | Avenida Almirante Reis Avenida da República | Avenida Almirante Reis Avenida da República |
| Fora das zonas ZER | Avenida da Índia Alameda/Cidade Universitária | Avenida da Índia Alameda/Cidade Universitária |

5.1.3. Determinação e análise da tipologia e da norma Euro dos veículos que circulam na Zona 1 e 2 da ZER e fora da zona ZER

Procedeu-se à junção dos dados de observação do tráfego dos 2 pontos de amostragem por zona e por ano e calculou-se em seguida a percentagem de cada tipologia para zona e por ano, de modo a caracterizar a tipologia dos veículos que circulam nas diferentes zonas. Após a junção dos dados referentes à tipologia e à norma Euro dos veículos calculou-se a percentagem da cada tipologia por norma Euro por ano e para cada zona.

De modo a avaliar a implementação da Fase 2 da ZER procedeu-se à análise individual dos dados referentes à Zona 1 e 2 e da zona fora da ZER. Para a Zona 1 e 2 realizou-se a análise do peso dos veículos com norma Pré-Euro2 e Pré-Euro1, respetivamente com o intuito de compreender o cumprimento da ZER nestas zonas. A análise do peso dos veículos com norma 4/5 foi realizada para todas as zonas de forma a perceber a evolução na circulação de carros recentes nestas zonas.

Por fim, procedeu-se a avaliação comparativa dos resultados referentes a todas as zonas, através da análise da evolução do número de veículos com norma Pré-Euro1, Pré-Euro2 e Euro 4/5 que circulam nas zonas ZER e fora das zonas ZER.

5.1.4. Cálculo da redução de emissões de PM_{10} e NO_x na Avenida da Liberdade face à implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa.

Tendo em conta os dados de tráfego da Avenida da Liberdade referentes aos anos 2011 e 2012, criou-se uma tabela onde se agrupou os veículos por tipologia, norma Euro e combustível, assumindo que todos os pesados, táxis, ligeiros de mercadorias e metade dos ligeiros de passageiros eram a gasóleo.

Para o cálculo das emissões de PM_{10} e NO_x tendo em conta a tipologia do tráfego que circula na Avenida da Liberdade usou-se a seguinte equação:

$$\text{Emissões} = \text{Fator de emissão} \times \text{TMD} \times \text{distância percorrida}$$

Os fatores de emissão para todas as tipologias foram calculados com recurso ao *Guia Corinair 2010* (EEA, 2010 b) e assumindo que os veículos circulavam a uma velocidade de 26 km/h.

Para efetuar o cálculo das emissões assumiu-se que os veículos percorriam toda a avenida sendo a distância percorrida de 1 km. No que diz respeito ao tráfego médio diário (TMD) da Avenida da Liberdade, este foi calculado através dos dados de contagem diária de tráfego fornecidos pelo sistema de regulação de tráfego da Câmara Municipal de Lisboa – GERTRUDE.

Sendo as emissões reduzidas um dos fatores de avaliação das ZER, procedeu-se ao cálculo da redução de emissões de PM_{10} e NO_x aquando da implementação da Fase 2 da ZER na Zona 1, pois é a zona onde está inserida a Avenida da Liberdade.

5.2. Resultados/Discussão

5.2.1. Zona 1 da ZER em Lisboa

Na Figura 5.4, estão representadas para os anos de 2011 e 2012 as percentagens das tipologias dos veículos que circulam na Zona 1, verificando-se que a mais representativa é a dos ligeiros de passageiro, seguindo-se os táxis. Os veículos com menos representatividade são os pesados de mercadorias. De 2011 para 2012 observa-se uma diminuição de cerca de 10% no número de veículos ligeiros de passageiros a circular nesta zona. Contrariamente aos ligeiros de passageiros, o número de táxis e de ligeiros de mercadorias aumentou 5% e 9%, respetivamente.

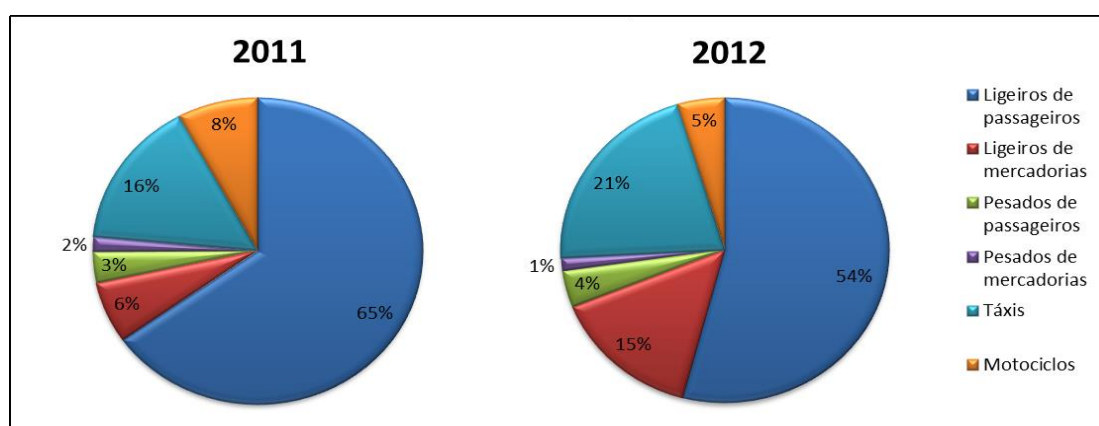


Figura 5.4 - Percentagens para as diferentes tipologias de veículos que circulam na Zona 1 da ZER.

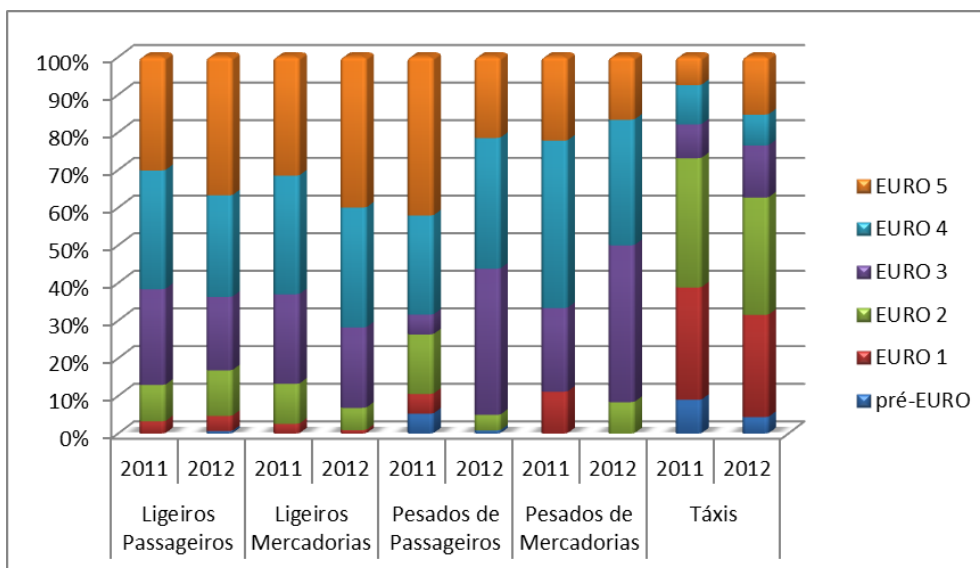


Figura 5.5 – Percentagem dos veículos que circulam na Zona 1 da ZER, tendo em conta a tipologia e a norma Euro.

Verifica-se através da Figura 5.5 que a percentagem dos veículos ligeiros e pesados que circulam na Zona 1 com norma Euro 4/5 é superior 50% nos dois anos. Relativamente aos táxis a percentagem de veículos Euro 4/5 é reduzida, existindo uma predominância de veículos Euro 2 e 3. De 2011 para 2012 as percentagens de veículos Pré-Euro e Euro 1 diminuíram em todas as tipologias, exceto nos ligeiros de passageiros.

Nas Figuras 5.6 e 5.7 é possível observar com maior detalhe a evolução das percentagens dos veículos com norma Pré-Euro 2 e Euro 4/5 através do peso dos mesmos em cada tipologia.

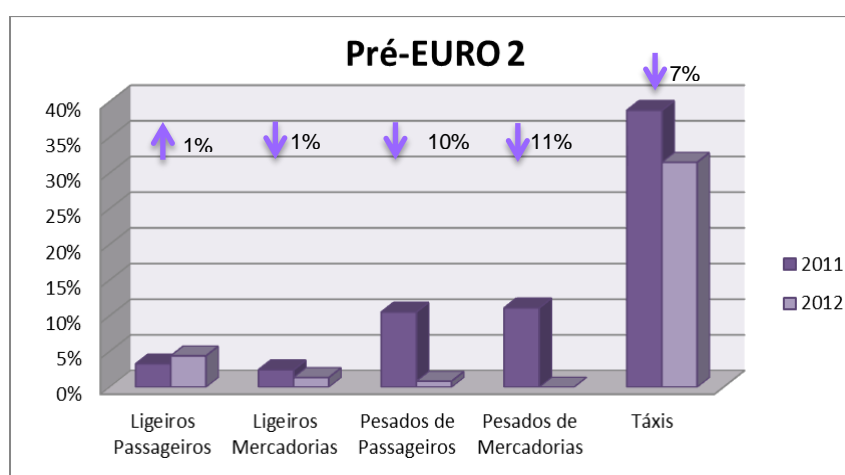


Figura 5.6 – Peso dos veículos com norma Pré – Euro 2 que circulam na Zona 1 da ZER, para o ano 2011 e 2012.

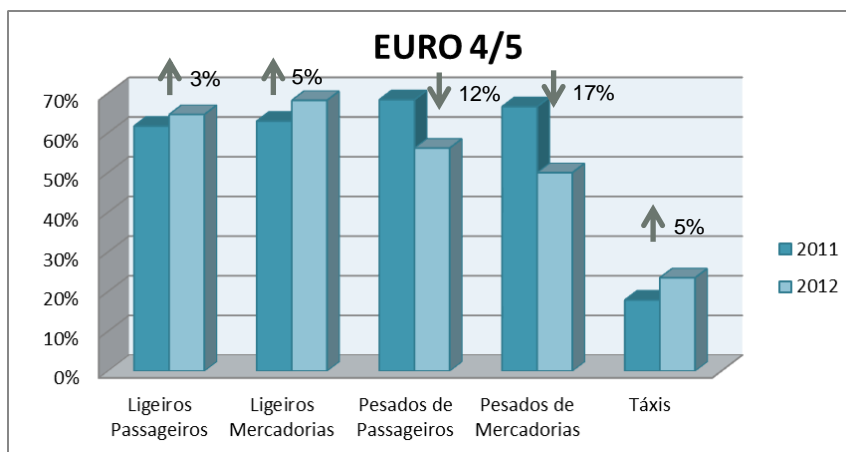


Figura 5.7 – Peso dos veículos com norma Euro 4/5 que circulam na Zona 1 da ZER, para o ano 2011 e 2012.

O peso dos veículos ligeiros de passageiros com norma Pré-Euro 2 sofreu um aumento; no entanto o aumento dos ligeiros de passageiros Euro 4/5 foi maior, podendo dever-se ao facto de os condutores não levarem os veículos mais antigos para o centro da cidade.

A necessidade da renovação da frota automóvel por parte das empresas, justifica a diminuição e o aumento do peso dos veículos ligeiros de mercadorias de norma Pré-Euro 2 e Euro 4/5, respetivamente.

No que diz respeito aos táxis, o peso destes veículos com norma Euro 4/5 aumentou contrariamente aos veículos com norma Pré-Euro 2. Este facto remete-nos para o início da renovação da frota de táxis.

A implementação da Fase 2 na Zona 1, remete à proibição da circulação de veículos ligeiros e pesados de norma Pré-Euro 2 (Pré-Euro e Euro 1). Tendo em conta as Figura 5.5 e Figura 5.6 é possível verificar a circulação de veículos Pré-Euro 2 na área da Zona 1 remetendo ao não cumprimento na totalidade da ZER nesta zona.

5.2.2. Zona 2 da ZER em Lisboa

Relativamente à Zona 2 a representatividade das tipologias é semelhante à Zona 1, no entanto, contrariamente à Zona 1, verifica-se uma diminuição da circulação de táxis e ligeiros de mercadorias sendo esta última pouco significativa (1%). No caso dos ligeiros de passageiros é observado um aumento de 6% de 2011 para 2012.

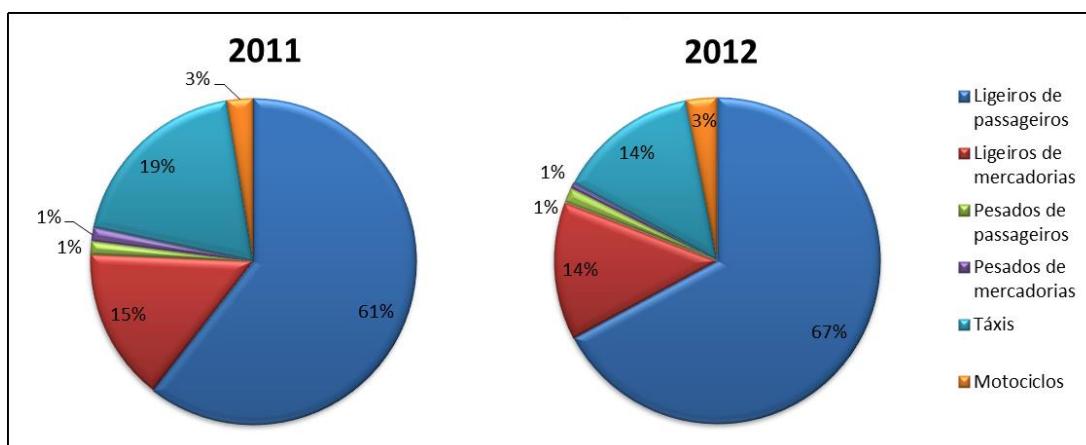


Figura 5.8 - Percentagens para as diferentes tipologias de veículos que circulam na Zona 2 da ZER.

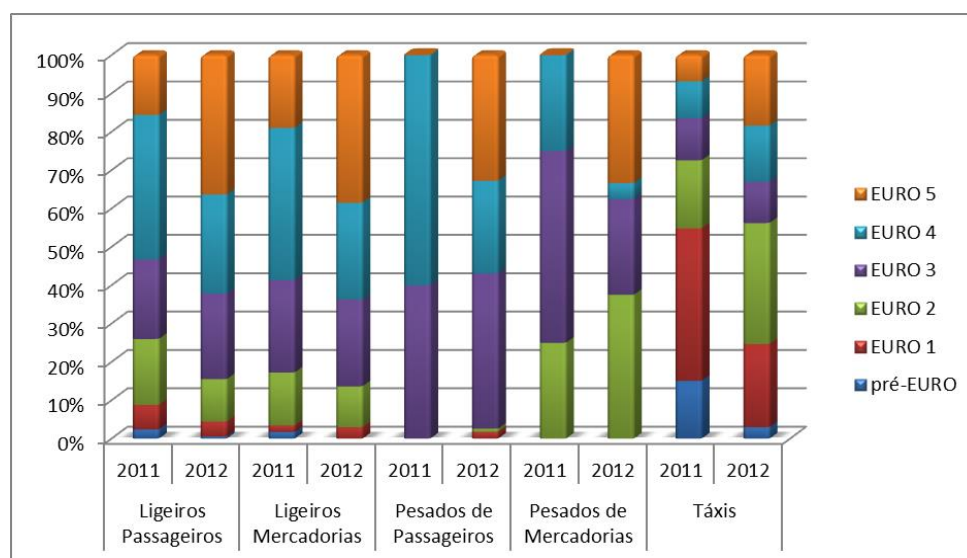


Figura 5.9 - Percentagem dos veículos que circulam na Zona 2 da ZER, tendo em conta a tipologia e a norma Euro.

A Figura 5.9 mostra-nos que a percentagem dos veículos ligeiros e pesados de passageiros que circulam na Zona 2 com norma Euro 4/5 é superior 50% nos dois anos. Relativamente aos pesados de mercadorias e táxis a percentagem destes veículos com norma Euro 4/5 é menor que 50%. De 2011 para 2012 as percentagens de veículos Pré-Euro diminuíram em todas as tipologias, não existindo a circulação de pesados de mercadorias com estas normas.

Nos veículos pesados de mercadorias verifica-se uma predominância de veículos com norma Euro 2 e 3.

Nas Figuras 5.10 e 5.11 estão representados os pesos dos veículos com norma Pré-Euro 1 e Euro 4/5 sendo possível observar com maior detalhe a evolução das percentagens dos veículos para cada tipologia.

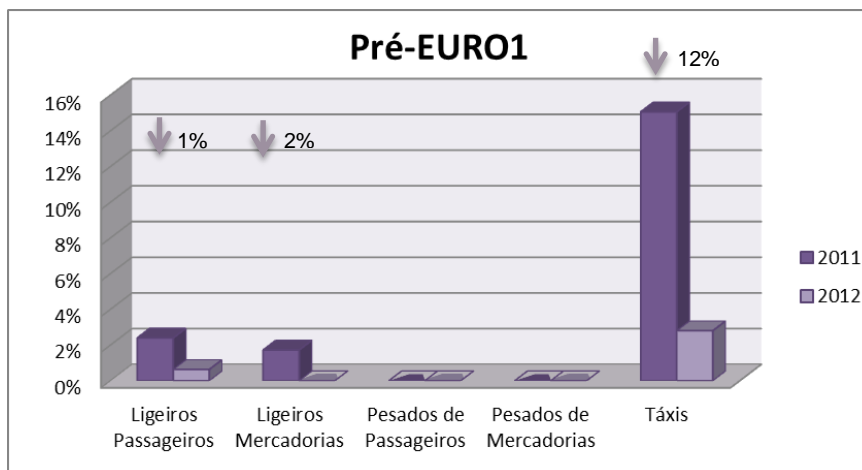


Figura 5.10 - Peso dos veículos com norma Pré – Euro 1 que circulam na Zona 2 da ZER, para o ano 2011 e 2012.

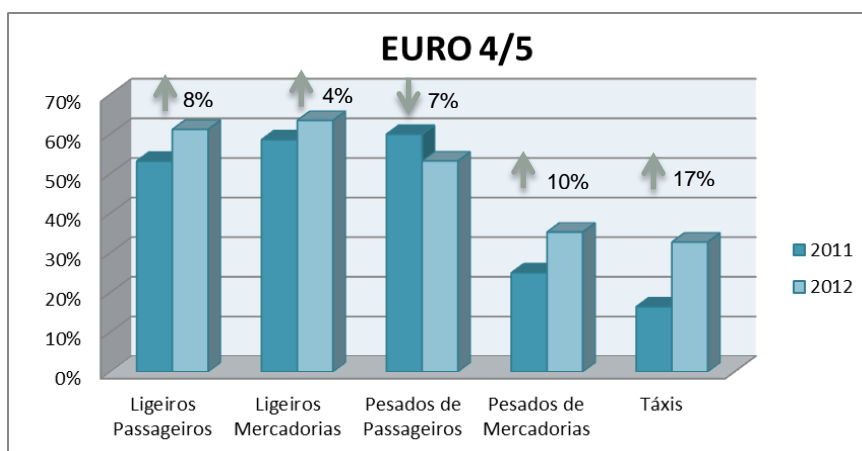


Figura 5.11 - Peso dos veículos com norma Euro 4/5 que circulam na Zona 2 da ZER, para o ano 2011 e 2012.

O aumento do peso dos veículos com norma Euro 4/5 em todas as tipologias exceto nos pesados de passageiros, remete-nos a uma possível renovação parque automóvel que circula na área da Zona 2 da ZER.

A implementação da Zona 2 da ZER condiciona a circulação dos veículos na área abrangida proibindo a circulação de veículos ligeiros e pesados com norma Pré-Euro 1. Após a implementação da Zona 2 da ZER (2012), a percentagem de veículos com norma Pré-Euro é nula ou muito baixa. A redução do

peso dos veículos ligeiros e táxis com norma Pré-Euro pode explicar o cumprimento da ZER na Zona 2 por parte dos condutores.

5.2.3. Zona fora da ZER em Lisboa

Na Figura 5.12, estão representadas para os anos de 2011 e 2012 as percentagens das tipologias dos veículos que circulam na cidade de Lisboa fora das zonas ZER, verificando-se que a mais representativa é a dos ligeiros de passageiro, seguindo-se os ligeiros de mercadorias. Os veículos com menos representatividade são os pesados de mercadorias. De 2011 para 2012 observa-se uma diminuição de 5% no número de veículos pesados de passageiros a circular nesta zona, no entanto, o número de táxis aumentou 4%.

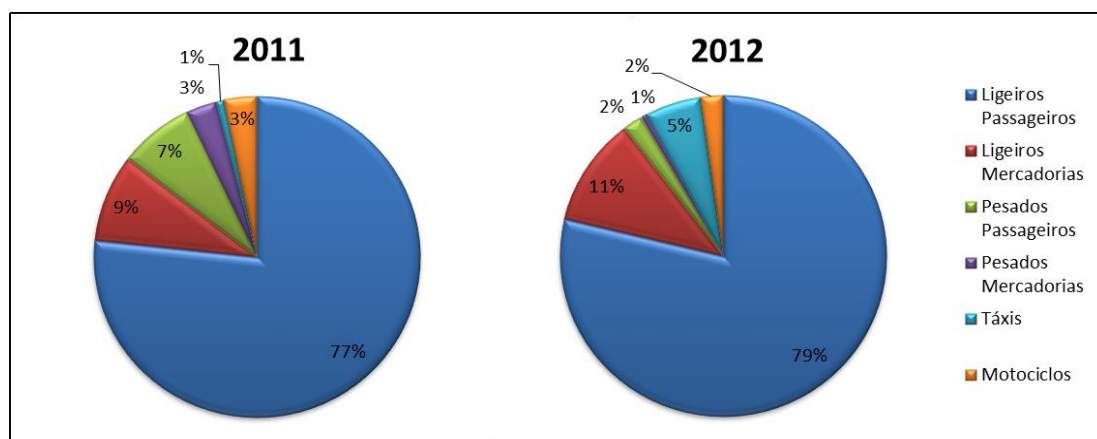


Figura 5.12 - Percentagens para as diferentes tipologias de veículos que circulam na cidade de Lisboa fora das zonas ZER.

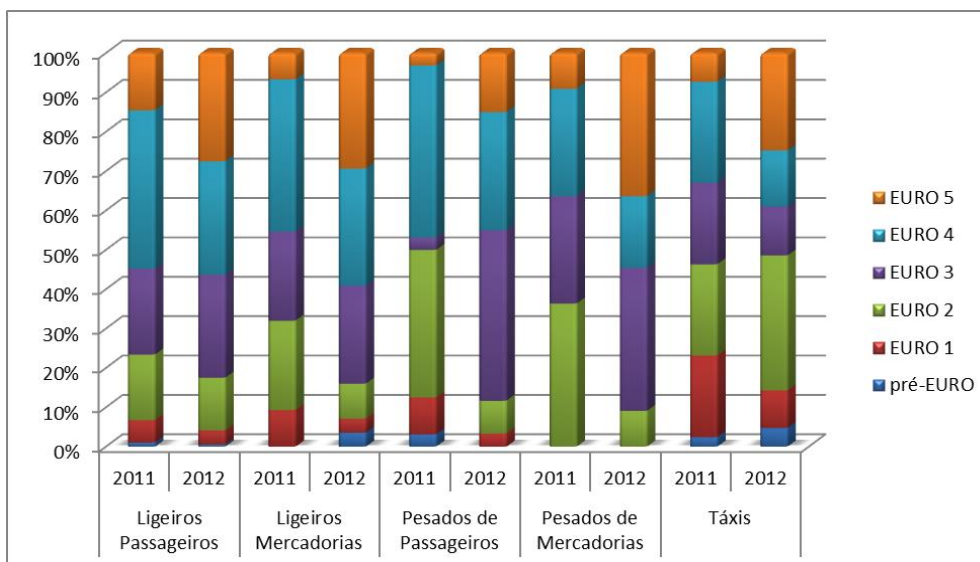


Figura 5.13 – Percentagem dos veículos que circulam fora das zonas ZER, tendo em conta a tipologia e a norma Euro.

Semelhante as Zonas 1 e 2, a percentagem dos veículos ligeiros e pesados que circulam fora das zonas ZER com norma Euro 4/5 é superior 50% nos dois anos, exceto os pesados de passageiros no ano 2011. Relativamente aos táxis a percentagem de veículos Euro 4/5 é aproximadamente 40%.

Tendo em conta que nestas zonas não existem restrições na circulação dos veículos, pode-se mencionar a renovação do parque automóvel como justificação para as elevadas percentagens de veículos novos que circulam nestas áreas da cidade de Lisboa.

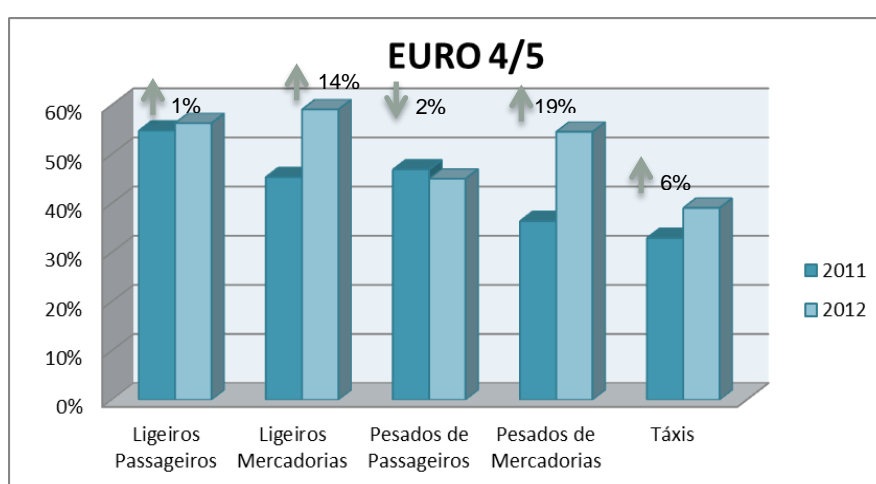


Figura 5.14 - Peso dos veículos com norma Euro 4/5 que circulam fora das zonas ZER, para o ano 2011 e 2012.

5.2.4. Avaliação comparativa dos resultados referentes a todas as zonas

De modo a avaliar o impacto da ZER procedeu-se à comparação do número dos veículos entre o ano 2011 e 2012. Esta comparação permite-nos entender especificamente o impacto da implementação da Fase 2 da ZER em Lisboa.

A Tabela 5.2 mostra como o número dos veículos que circulam nas diferentes zonas evoluiu entre os anos 2011 e 2012.

Tabela 5.2 - Evolução do número dos veículos com norma Pré- Euro 1, Pré- Euro 2 e Euro 4/5 que circulam nas Zonas ZER e fora da ZER.

| | | Ligeiros de Passageiros | Ligeiros de Mercadorias | Táxis | Pesados de Passageiros | Pesados de Mercadorias |
|---------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------|------------------------|------------------------|
| Pré - Euro 1 | Zona 1 | ↑ 1% | 0% | ↓ 5% | ↓ 4% | 0% |
| | Zona 2 | ↓ 1% | ↓ 2% | ↓ 12% | 0% | 0% |
| | Fora da ZER | 0% | ↑ 4% | ↓ 2% | ↑ 1% | ↑ 3% |
| Pré - Euro 2 | Zona 1 | ↑ 1% | ↓ 1% | ↓ 7% | ↓ 10% | ↓ 11% |
| | Zona 2 | ↓ 4% | 0% | ↓ 32% | ↑ 2% | 0% |
| | Fora da ZER | ↓ 3% | ↓ 2% | ↓ 13% | ↓ 6% | ↑ 3% |
| Euro 4/5 | Zona 1 | ↑ 3% | ↑ 5% | ↑ 5% | ↓ 12% | ↓ 17% |
| | Zona 2 | ↑ 8% | ↑ 4% | ↑ 17% | ↓ 7% | ↑ 10% |
| | Fora da ZER | ↑ 1% | ↑ 14% | ↑ 6% | ↓ 2% | ↑ 19% |

Perante a análise da Tabela 5.2 verifica-se que a implementação das Zonas de Emissões Reduzidas não teve muito impacto, na medida em que a evolução do número dos veículos na zona fora da ZER é semelhante à evolução verificada na Zona 1 e Zona 2 da ZER. O decréscimo do TMD deverá ser o fator mais determinante, pois este tem vindo a diminuir nos últimos anos. As limitações associadas à pequena dimensão da amostra conduzem à necessidade de algum cuidado na interpretação dos resultados e das variações por vezes mínimas em causa. Mais ainda, o condicionamento do tipo de veículos fora da ZER, mas imposto pelas restrições da ZER, também deverá ser considerado, apesar de não ser possível quantificá-lo.

No que diz respeito aos veículos com norma Euro 4/5, verifica-se um aumento do número de veículos com esta norma em todas as zonas, sendo a responsabilidade deste aumento a existência de alguma renovação do parque automóvel que circula na cidade de Lisboa.

A falta de fiscalização na área das ZER é um facto que tem elevada importância na medida em que influencia o impacto da ZER, diminuindo-o, pois existe um elevado incumprimento por parte dos condutores.

5.2.5. Cálculo de emissões reduzidas na Avenida da Liberdade após implementação da Fase 2 da ZER.

O cálculo das emissões reduzidas é um dos fatores de avaliação da implementação das ZER. De modo a compreender e avaliar melhor a implementação da Fase 2 da ZER na Zona 1, procedeu-se ao cálculo das emissões reduzidas no troço da Avenida da Liberdade está inserida na Zona 1 da ZER.

As Tabelas 5.3 e 5.4 mostram as emissões de PM_{10} e NO_x determinadas para os períodos antes e depois da implementação da Fase 2, tendo em conta a tipologia e norma euro dos veículos que circulam na Avenida da Liberdade.

Tabela 5.3 - Emissões em g/dia de PM_{10} e NO_x correspondentes a cada norma e tipologia de tráfego na Avenida da Liberdade, para o período antes da implementação da Fase 2 da ZER.

| | Emissões em g/dia | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|--------|-----------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|------------|--------|
| | Ligeiros | | Táxis | | Pesados de Passageiros | | Pesados de Mercadorias | | Motociclos | |
| | PM_{10} | NO_x | PM_{10} | NO_x | PM_{10} | NO_x | PM_{10} | NO_x | PM_{10} | NO_x |
| Pré-Euro | - | - | 98.1 | 286.2 | 32.6 | 592.5 | - | 0.0 | 8.9 | 111.1 |
| Euro 1 | 21.7 | 288.4 | 84.8 | 915.9 | 17.2 | 362.7 | 21.0 | 442.8 | 11.7 | 153.5 |
| Euro 2 | 54.8 | 911.1 | 80.6 | 1160.8 | 23.7 | 1152.8 | - | - | 2.1 | 93.5 |
| Euro 3 | 82.0 | 2263.7 | 12.5 | 301.3 | 7.4 | 336.8 | 18.2 | 822.5 | 0.6 | 24.2 |
| Euro 4 | 101.4 | 2067.0 | 14.2 | 274.5 | 8.3 | 973.2 | 8.1 | 950.5 | 0.0 | 0.0 |
| Euro 5 | 8.0 | 1340.6 | 0.6 | 141.1 | 13.2 | 887.7 | 4.0 | 271.0 | 0.0 | 0.0 |
| Total | 267.9 | 6870.8 | 290.9 | 3079.8 | 102.5 | 4305.8 | 51.3 | 2486.8 | 23.2 | 382.2 |

Tabela 5.4 - Emissões em g/km de PM₁₀ e NO_x correspondentes a cada norma e tipologia de tráfego na Avenida da Liberdade, para o período depois da implementação da Fase 2 da ZER.

| | Emissões em g/dia | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | Ligeiros | | Táxis | | Pesados de Passageiros | | Pesados de Mercadorias | | Motociclos | |
| | PM ₁₀ | NO _x | PM ₁₀ | NO _x | PM ₁₀ | NO _x | PM ₁₀ | NO _x | PM ₁₀ | NO _x |
| Pré-Euro | 12.4 | 107.8 | 52.6 | 153.4 | - | - | - | - | 5.6 | 69.5 |
| Euro 1 | 28.0 | 406.6 | 83.9 | 906.1 | - | - | - | - | 7.3 | 96.0 |
| Euro 2 | 68.4 | 1125.0 | 73.7 | 1061.0 | 7.2 | 348.7 | 9.2 | 445.8 | 1.3 | 58.5 |
| Euro 3 | 68.9 | 1874.0 | 16.0 | 385.1 | 74.2 | 3362.9 | 8.6 | 390.8 | 0.3 | 15.1 |
| Euro 4 | 85.8 | 1737.4 | 12.5 | 242.5 | 12.7 | 1501.5 | - | - | 0.0 | 0.0 |
| Euro 5 | 9.9 | 1746.2 | 1.1 | 251.2 | 9.7 | 654.6 | 1.9 | 128.8 | 0.0 | 0.0 |
| Total | 273.3 | 6997.0 | 239.8 | 2999.3 | 103.9 | 5867.8 | 19.7 | 965.4 | 14.5 | 239.1 |

Tendo em conta as emissões dos dois períodos, verifica-se que para todas as tipologias as emissões de NO_x são sempre maiores às emissões de PM₁₀. Relativamente às tipologias observa-se que na Avenida da Liberdade grande parte das emissões de PM₁₀ e NO_x provêm dos ligeiros, dos táxis e dos pesados de passageiros.

No ano de 2011 foram emitidos 268,5 e 6250,8 kg/ano de PM₁₀ e NO_x, respetivamente. Relativamente às emissões de PM₁₀ e NO_x no ano de 2012, estas foram 237,7 e 6230,1 kg/ano, existindo uma redução em relação ao ano 2011.

Perante os dados das emissões de PM₁₀ e NO_x procedeu-se ao cálculo da redução de emissões de após a implementação da fase 2 da ZER. A Figura 5.15 mostra a percentagem de redução das emissões, no entanto na Figura 5.16 mostra as emissões reduzidas por dia.

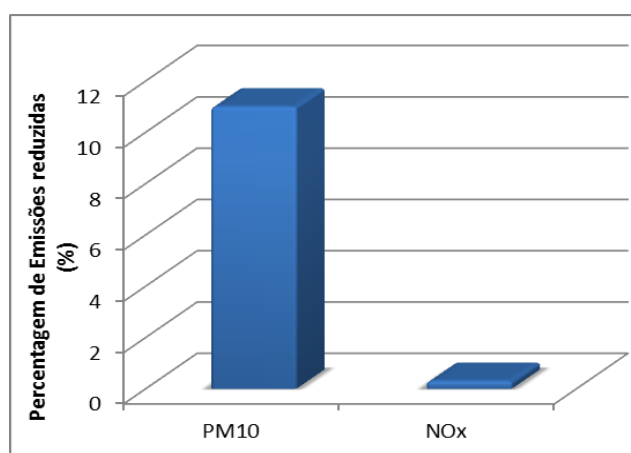


Figura 5.15 – Percentagem de Emissões reduzidas de PM₁₀ e NO_x após a implementação da fase 2 da ZER na Avenida da Liberdade.

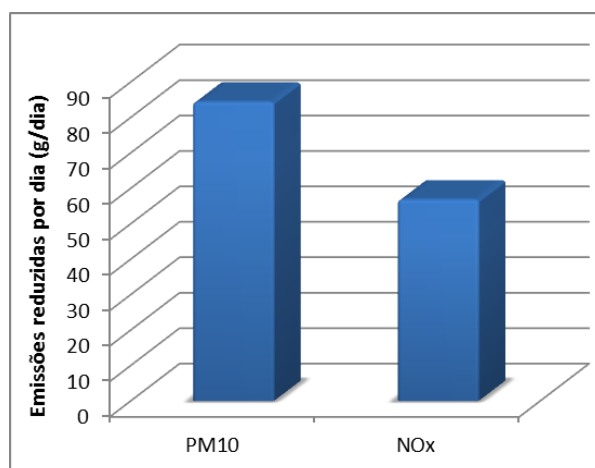


Figura 5.16 – Emissões reduzidas de PM₁₀ e NO_x por dia, após a implementação da fase 2 da ZER na Avenida da Liberdade.

Relativamente aos dois poluentes analisados, nota-se que a redução das emissões de PM₁₀ é superior à redução das emissões de NO_x como é possível observar nas Figura 5.15 e 5.16. Após a implementação da fase 2 as emissões de PM₁₀ e NO_x reduziram 11% e 0,3%, respetivamente. Estas percentagens correspondem à redução de 30,8 kg/ano de PM₁₀ e de 20,7 kg/ano de NO_x.

6. CONCLUSÃO

Um dos principais objetivos deste trabalho foi a avaliação da qualidade do ar a longo prazo na cidade de Lisboa. Para tal efetuou-se uma análise da qualidade do ar para um período de 10 anos compreendido entre 2001 e 2010, incidindo no estudo dos poluentes atmosféricos - PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , NO_x e CO – registados pelas estações Avenida da Liberdade, Entrecampos, Olivais e Restelo que integram a rede de monitorização da qualidade do ar de Lisboa e Vale do Tejo.

Os resultados obtidos pela análise do cumprimento da legislação para cada um dos poluentes revelam a existência de situações de incumprimento dos valores-limite estabelecidos pela legislação para a proteção da saúde humana, para os poluentes PM_{10} e NO_2 . Os poluentes mais críticos, como as PM_{10} e o NO_2 , excederam os valores limite diários e horários em vários anos consecutivos, tendo sido registado o maior número de excedências na estação de monitorização da Avenida da Liberdade.

Relativamente ao CO, nas estações de monitorização em estudo não se verificou qualquer ultrapassagem do valor de 10 mg/m^3 para a proteção da saúde humana estipulado no Decreto-Lei nº 102/2010 de 23 de Setembro, ao longo de todo o período em estudo.

Através da análise do padrão das concentrações médias anuais por dia da semana dos poluentes, é possível identificar a relação entre o tráfego rodoviário e as concentrações dos poluentes, pois ao longo dos dez anos são registadas concentrações maiores durante a semana por contraste com os fins de semana, períodos em que o tráfego é menos intenso.

Tal é também confirmado pelo facto de as concentrações médias anuais mais elevadas dos poluentes serem registadas nas estações urbanas de tráfego (Avenida da Liberdade e Entrecampos), e atendendo que na área de influência destas estações se verifica um intenso tráfego rodoviário.

No que diz respeito aos padrões sazonais das concentrações médias anuais, estes são semelhantes para todos os poluentes em estudo, possibilitando verificar a influência das condições meteorológicas nas concentrações dos poluentes. As concentrações mais elevadas dos poluentes são registadas nos meses de Inverno, onde as condições meteorológicas dificultam a dispersão dos poluentes. No caso do NO_2 , NO_x e CO, a sua concentração é mais reduzida no Verão devido ao aumento da radiação solar e ao maior consumo de que são alvo por via fotoquímica.

Em geral, as concentrações médias anuais dos poluentes em todas as estações de monitorização têm vindo a diminuir ao longo dos dez anos, exceto no caso do NO_2 , em que se verifica um aumento das concentrações nos primeiros anos, seguido da estabilidade das mesmas.

Tendo em conta estas conclusões, é evidente que a qualidade do ar na cidade de Lisboa é bastante influenciada pelo tráfego rodoviário e que as PM_{10} e o NO_2 são os poluentes mais críticos, tendo motivado nos últimos dois anos a aplicação de medidas para redução das suas emissões com o intuito de melhorar a qualidade do ar da cidade.

O estabelecimento de Zonas de Emissões Reduzidas foi a medida de maior magnitude recentemente implementada e que conta já com duas fases, tendo a Fase 2 entrado em vigor em Abril de 2012. O segundo objetivo deste trabalho foi precisamente a avaliação da implementação desta última fase. Assim, após a recolha de informação sobre o tráfego referente ao período antes e depois da entrada em vigor da Fase 2, foi possível avaliar o impacto da medida na estrutura de tráfego e também na qualidade do ar em Lisboa.

Foram analisadas e comparadas três zonas diferentes, nomeadamente a Zona 1 e Zona 2 da ZER, e zona fora da ZER. A análise ao número de veículos com normas Pré-Euro1, Pré-Euro2 e Euro 4/5 nas diferentes zonas após a entrada em vigor da Fase 2, permitiu verificar um aumento do número de veículos com norma Euro 4/5 em todas as zonas.

No que diz respeito aos veículos com norma Pré-Euro2 impedidos de circular na Zona 1, verificou-se a redução do número destes veículos nesta zona, exceto no caso dos veículos ligeiros que aumentam 1%. Contudo, a redução do número de veículos com norma Pré-Euro2 também se verificou nas restantes zonas. Estas reduções levaram por sua vez a uma redução das emissões de PM_{10} e NO_2 de 11% e 0,3%, respetivamente, na Avenida da Liberdade (Zona 1).

Em relação aos veículos com norma Pré-Euro1 que estão proibidos de circular na Zona 2, verificou-se a redução do número de veículos em todas as tipologias.

Considerando estes factos, conclui-se que a implementação da ZER teve um impacto relativamente pouco significativo, pois a evolução do número de veículos com as diferentes normas Euro nas três zonas são semelhantes, não se verificando alterações substanciais nas diferentes zonas. A diminuição do tráfego médio diário nos últimos anos, e a renovação do parque automóvel justificada pelo aumento do número de veículos com norma Euro4/5, poderão ser os responsáveis pela redução do número de veículos com norma Pré-Euro e Euro 1. Estes dados devem mesmo assim ser interpretados com alguma precaução, não apenas por o processo de amostragem ser limitado, mas também porque se desconhece se o impacto das restrições impostas pela ZER não estará a ter efeito na redução do volume de tráfego ou na mudança das características dos veículos circulantes simultaneamente dentro e fora da ZER.

A circulação de veículos Pré-Euro 2 na Zona 1 e de veículos Pré-Euro 1 na Zona 2, após a entrada em vigor da ZER, poderão ser de residentes (abrangidos por um regime de exceção), ou devido à falta de fiscalização.

Desenvolvimentos futuros

- Utilização da modelação de dispersão de poluentes na avaliação a longo prazo da qualidade do ar em Lisboa.
- Desenvolvimento de modelos de qualidade do ar para monitorização e avaliação da implementação das Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. S. (2010). *Planos de mobilidade no contexto da melhoria da qualidade do ar em Lisboa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- APA (2008). Relatório do Estado do Ambiente 2007. Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Amadora.
- APA (2012 a). Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr - Base de Dados Online sobre Qualidade do Ar. Obtido em Dezembro de 2012, de Informações: <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=5&subpage=8>
- APA (2012 b). Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr - Base de Dados Online sobre Qualidade do Ar. Obtido em Dezembro de 2012, de Estações: <http://www.qualar.org/?page=4&subpage=1>
- APA (2012 c). Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr - Base de Dados Online sobre Qualidade do Ar. Obtido em Dezembro de 2012, de Download: <http://www.qualar.org/?page=6>
- Araújo, R. P. (2008). *Monitorização da Qualidade do Ar na Envolvente de Indústrias Cimenteiras - Caso de Estudo da Fábrica SECIL-Outão*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Baptista, C. E. (2008). *Análise comparativa da qualidade do ar em Portugal*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro.
- Belanger, K.; Leaderer, B. P.; Gent, J. F.; Triche, E.W. e Bracken, M.B. (2006). Association of indoor nitrogen dioxide exposure with respiratory symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med*. Vol. 173, pp. 297 - 303.
- Borrego, C., Martins, H., Tchepel O., Salmim L., Monteiro, A., Miranda A.I. (2005). How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. *Environmental Modelling & Software*, 21, pp 461 – 467.
- Borrego, C. & Miranda, A. I. (2008). *Avaliação da Qualidade do Ar da Região Norte: uma perspetiva histórica, 2000 - 2007, Porto*. Universidade de Aveiro, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da região Norte.
- Brás, H. (2012). *Avaliação dos benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- CCDR-LVT (2001). Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa - Estudos de Fundamentação Técnica, Volume 3. Lisboa: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CCDR-LVT, & DCEA-FCT/UNL. (2009). *Programa de Execução do Plano de Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Lisboa: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- CE. (2005). *Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu: Estratégia temática sobre a poluição atmosférica*. Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias.
- Colville, R.N.; Hutchinson, E.J.; Mindell, J.S. e Warren, R.F. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*. 2001, Vol. 35, pp. 1537 -1565.

- Decreto-Lei nº102/2010 de 23 de Setembro. (2010). Diário da República, I.ª Série, n.º 186. 4177-4205. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- DGEG (2013). Portal da Direcção Geral de Energia e Geologia. Obtido em Janeiro de 2013, <http://www.dgeg.pt/>
- EEA. (1999). Criteria for EUROAIRNET - The EEA Air Quality Monitoring and Information Network. Vol. Technical Report No. 12. European Environment Agency
- EEA. (2010 a). *The European Environment: State and the Outlook 2010*. Copenhagen . European Environment Agency. p. 46.
- EEA. (2010 b). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2009. Obtido em Janeiro de 2012, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>
- EEA. (2012). *Air quality in Europe — 2011 report*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Elminir, H.K. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of The Total Environment*. Vol. 350, Issues 1-3, pp 225 – 237.
- EU. (2012). Low emission zones in Europe. Obtido em Janeiro de 2013, de European Union: <http://www.lowemissionzones.eu/>
- Gonçalves, L.P. (2008). *Impacte da combustão doméstica na qualidade do ar*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro.
- INE (2011). *Censos 2011* - Portal do Instituto Nacional de Estatística. Obtido em Dezembro de 2012, www.ine.pt.
- IPMA (2012). Portal do Instituto Português do Mar e do Atmosfera. Obtido em Dezembro de 2012, <http://www.ipma.pt/>.
- King's College London. (2012). Portal do Projeto Openair, Obtido em Novembro de 2012, <http://www.openair-project.org>.
- Kumar, P.; Fennell, P.; Britter, R. (2008). Effect of wind direction and speed on the dispersion of nucleation and accumulation mode particles in an urban street canyon. *Science of The Total Environment*. Vol. 402, Issue 1, pp 82 – 94.
- Martins, A. P. (2005). *Avaliação da Qualidade do Ar em Lisboa. Estações Urbanas de Tráfego*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro.
- Maurício, B. M. (2009). *Alterações Climáticas e Qualidade do Ar: integração das partículas PM2.5 e PM10 no modelo TIMES_PT e análise de políticas comuns de redução*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Mesquita, S. (2009). *Modelação da distribuição especial da qualidade do ar em Lisboa usando sistemas de informação geográfica*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Miranda, A.I.; Monteiro, A.; Borrego, C. e Vautard, R.(2007). Air quality assessment for Portugal. *Science of The Total Environment*, 373, pp 22-31.
- Monteiro, A. (2007). *Desenvolvimento de um sistema de Avaliação e previsão da qualidade do ar para Portugal*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro.

- Osses, R. e Urrutia, C. (2002). Hot Emissions Model for mobile Sources: Applications to the Metropolitan Region of the City of Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association*. Vol. 52. pp 167-174.
- Querol, X.; Alastuey, A.; Rodriguez, S.; Plana, F.; Mantilla, E.; Ruiz, C.(2001). Monotoring of PM10 and PM2,5 around primary particulate anthropogenic emission sources. *Atmospheric Environment*. Vol. 35, Issue 1, pp 845-858.
- Santos, R.M. (2003). *Avaliação da Qualidade do Ar na Área Metropolitana do Porto, 1999-2003*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto.
- Schnitzhofer, R. ; Beauchamp, J.; Dunkl, J.; Wisthaler, A.; Weber, A. e Hansel A.. (2008). Long-term measurements of CO, NO, NO₂, benzene, toluene and PM 10 at a motorway location in an Austrian valley. *Atmospheric Environment*. Vol. 42, pp. 1012 - 1024.
- Scholz, W. e Rabl, P. (2006). Unexpectedly low decrease of NO₂ air pollution - Correlation with ozone concentration and altered exhaust emissions. 15th Conference Transport and Air Pollution. France . N°107, Vol. 2, pp. 264-269.
- Seinfeld, J.H. e Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics. Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, New York,1271.
- Sini, J-F.; Anquetin, S.; Mestayer, P.G.(1996). Pollution dispersion and thermal effects in urban street canyons. *Atmospheric Environment*. Vol. 30, Issue 15, pp 155-182.
- Sousa, S.G. (2007). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte*. Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Vallero, D. A. (2008). *Fundamentals of air pollution - Fourth edition* (quarta edição ed.). Durham, North Carolina: Elsevier.
- Vardoulakis, S.; Fisher, B.; Pericleous, K.; Gonzalez.Flesca, N. (2003). Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment*. Vol. 37, Issue 2, pp 2659-2677.
- WHO. (2003). *Health Aspects of Air Pollution with Pollution with Ozone and Nitrogen Dioxide*. World Health Organization.
- WHO. (2006) . *Air Quality Guidelines Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen*. World Health Organization.
- WHO. (2011). *Air quality and health 2011*. (Vol. Fact Sheet n° 313): World Health Organization.
- Xie, X.; Liu, C- H.; Leung, D.Y.C. (2007). Impact of building facades and ground heating on wind flow and pollutant transport in street canyons. *Atmospheric Environment*. Vol. 41, Issue 39, pp 9030-9049.

8. ANEXOS

8.1. Padrões diários das concentrações médias anuais dos poluentes

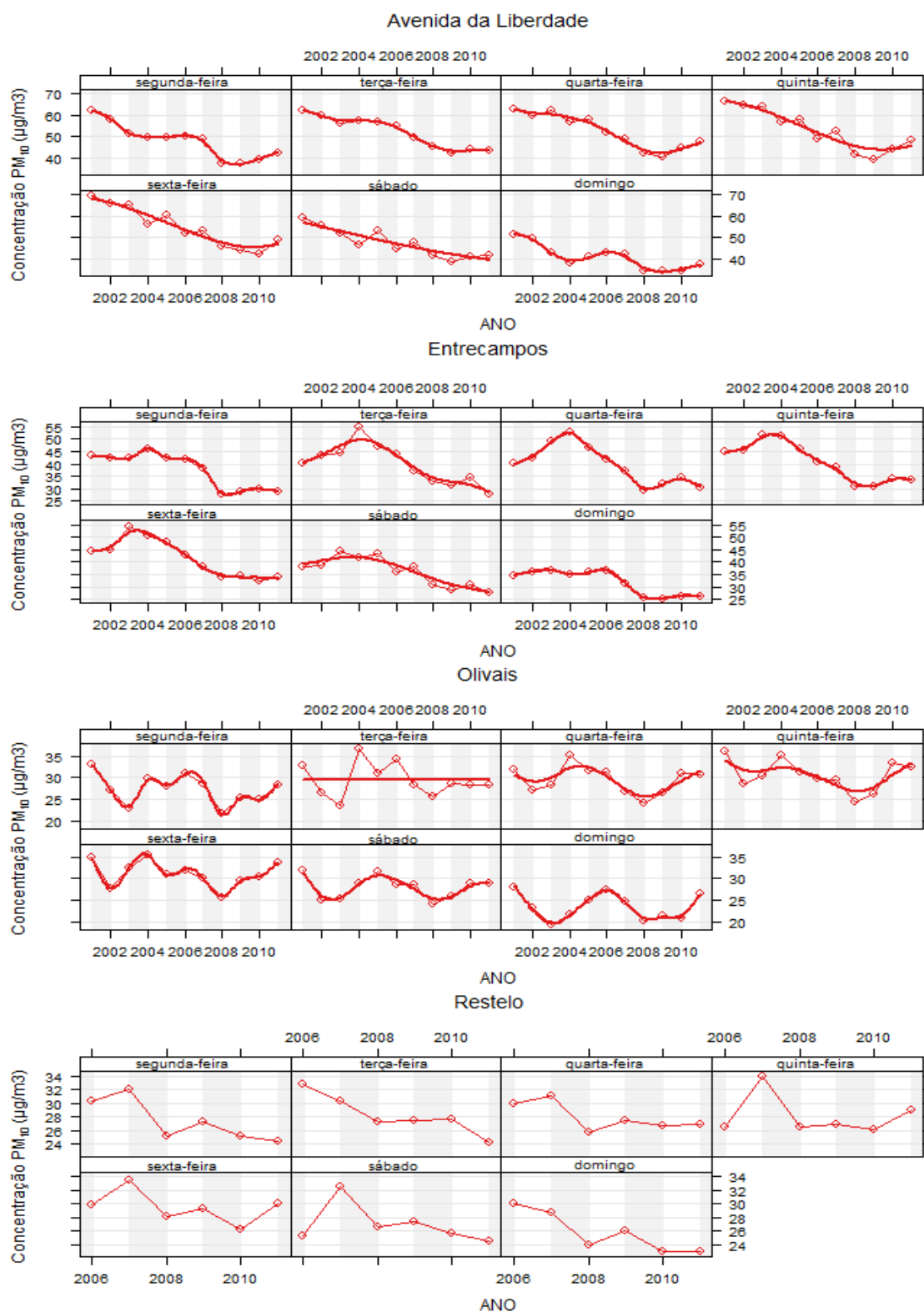


Figura 8.1 - Padrão semanal das concentrações médias anuais de PM₁₀ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

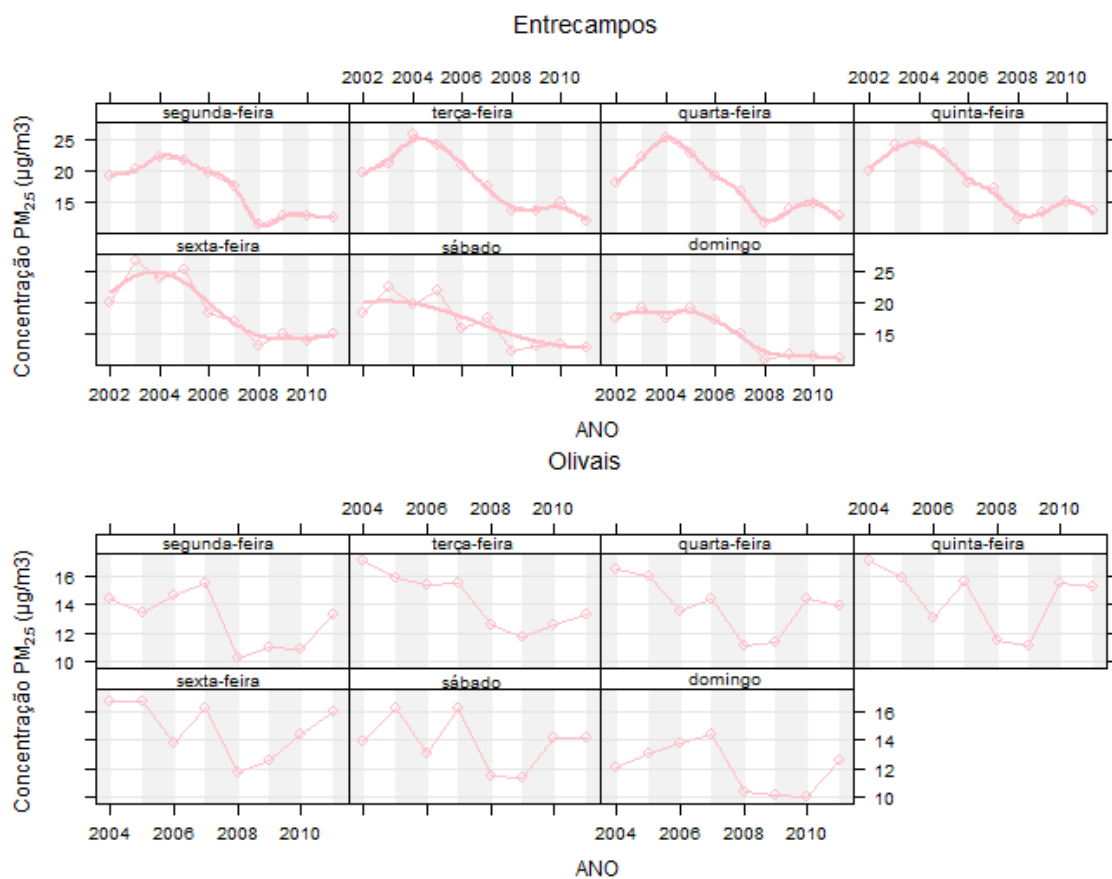


Figura 8.2 - Padrão semanal das concentrações médias anuais de $PM_{2.5}$ e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

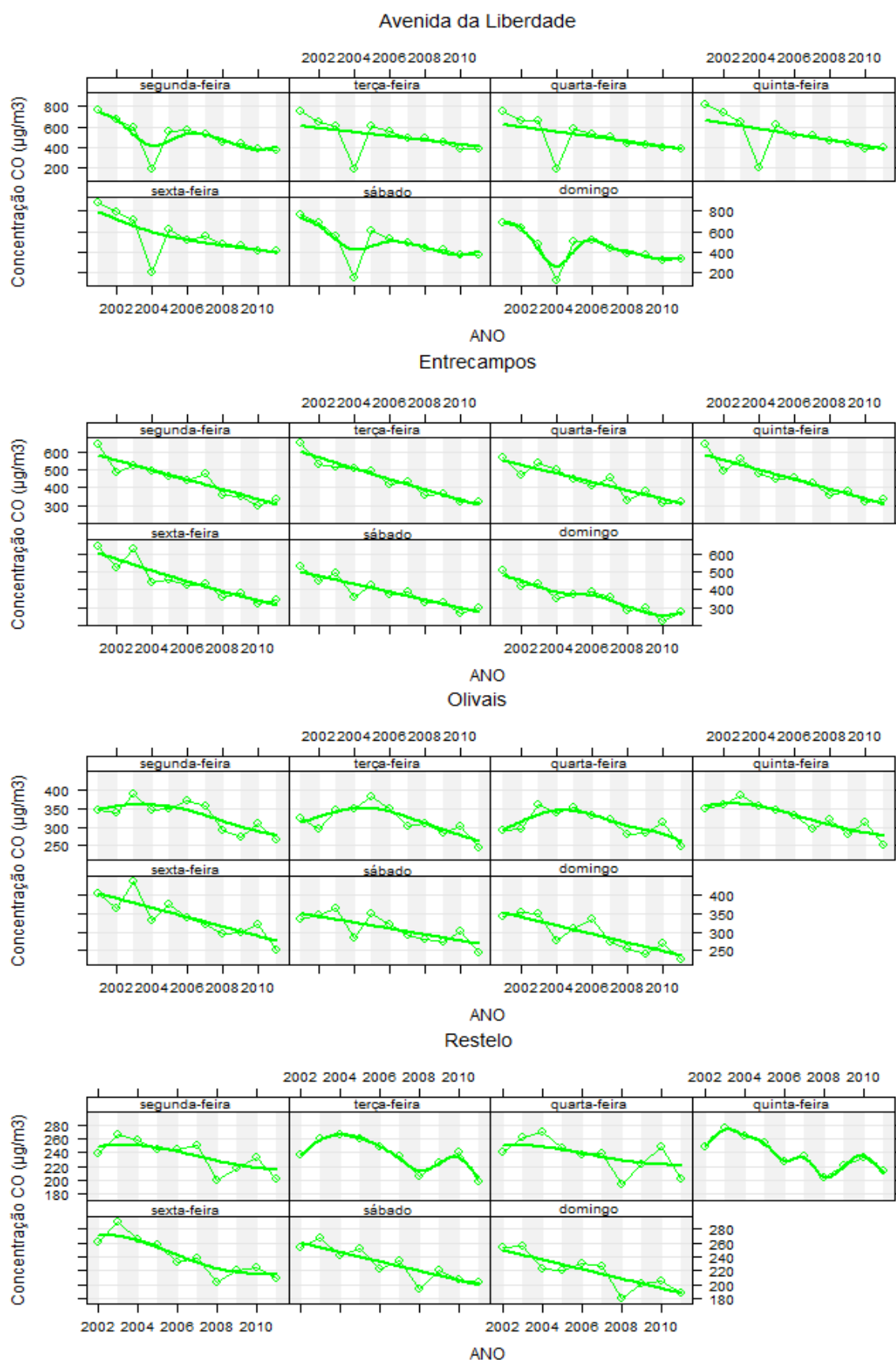


Figura 8.3 - Padrão semanal das concentrações médias anuais de CO e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

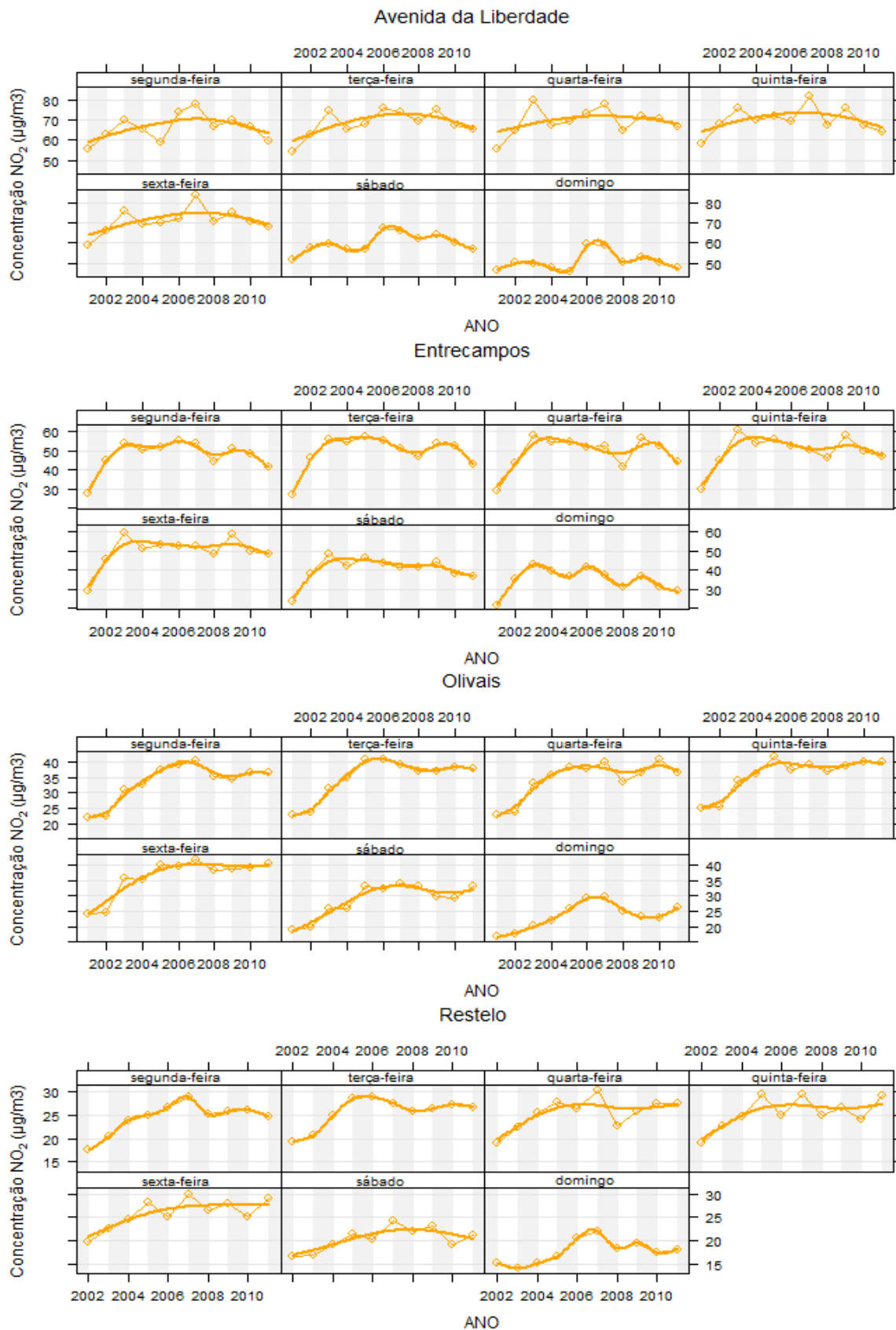


Figura 8.4 - Padrão semanal das concentrações médias anuais de NO_2 e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

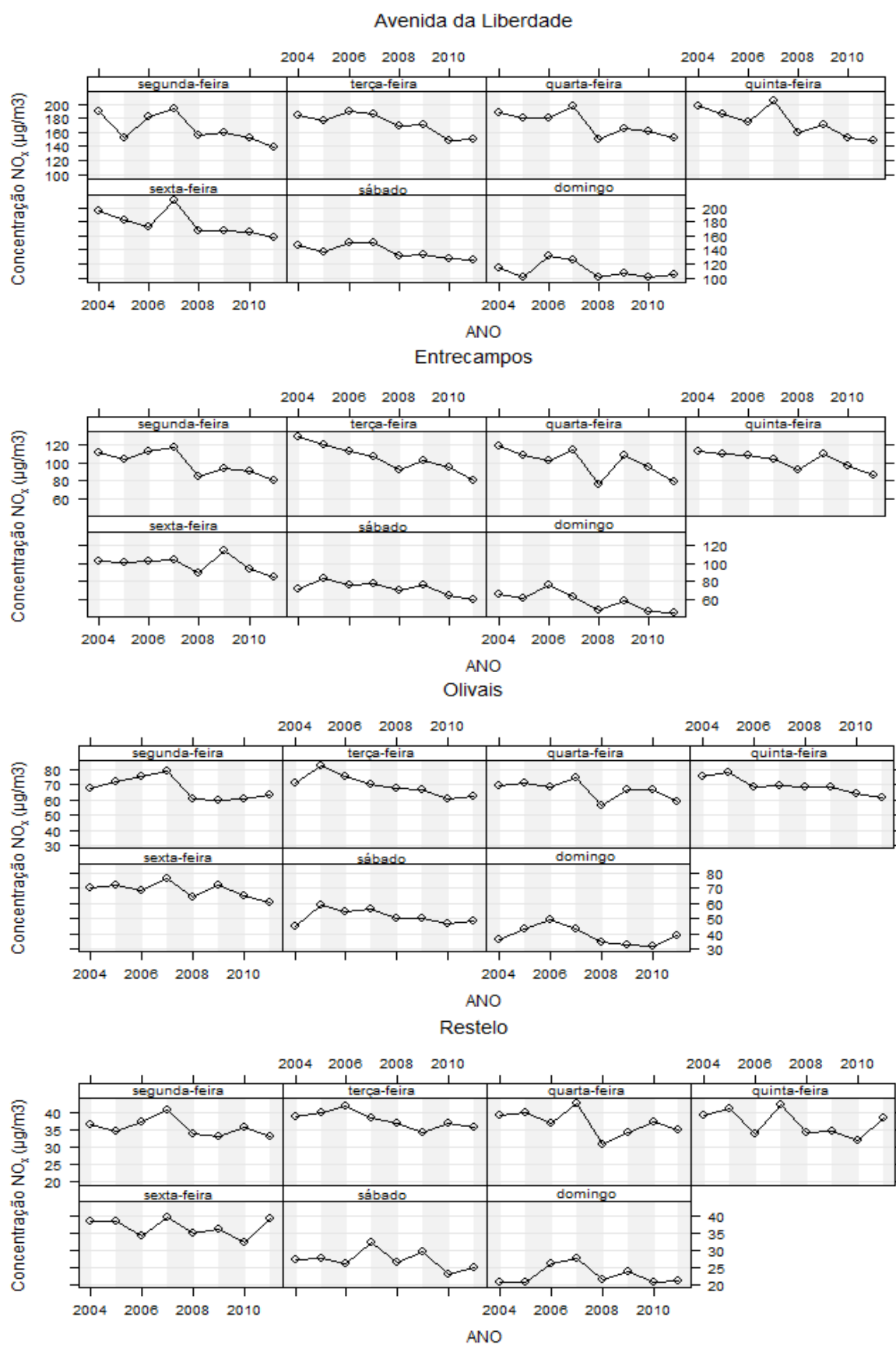


Figura 8.5 - Padrão semanal das concentrações médias anuais de NO_x ao longo dos anos em estudo para cada estação de monitorização.

8.2. Preço médio anuais dos combustíveis

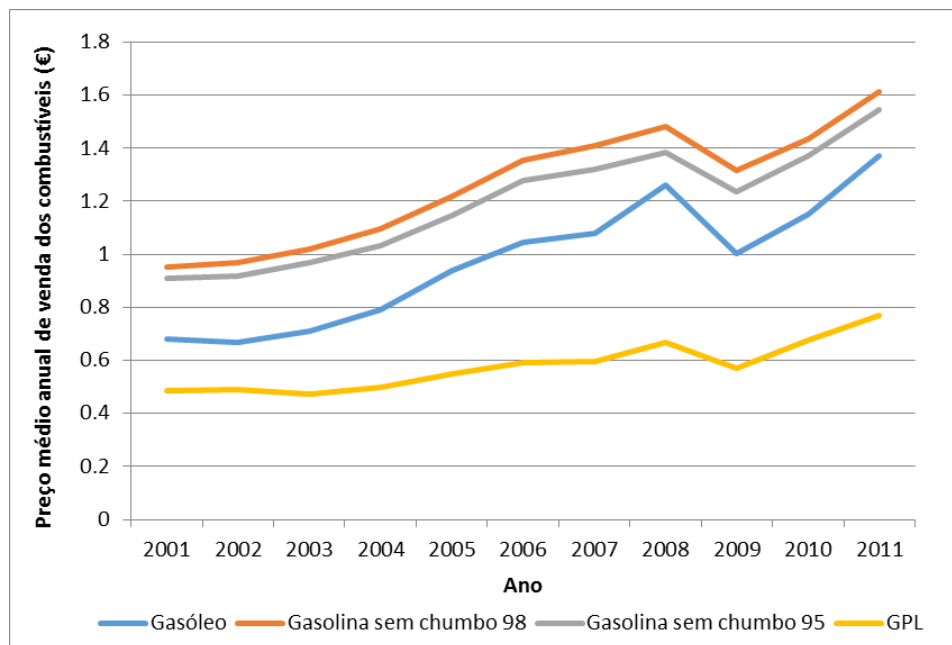


Figura 8.6 – Evolução dos preços médios anuais dos combustíveis entre os anos 2001 e 2011. (DGEG, 2013)

8.3. Fatores de Emissão

Tabela 8.1 – Fatores de Emissão dos veículos ligeiros movidos a gasóleo e gasolina ($v = 26$ km/h).

| Norma EURO | Gasóleo | | Gasolina | |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | PM ₁₀ (g/km) | NO _x (g/km) | PM ₁₀ (g/km) | NO _x (g/km) |
| pré-Euro | 0.266 | 0.776 | 0.003 | 1.572 |
| Euro1 | 0.069 | 0.745 | 0.003 | 0.328 |
| Euro2 | 0.057 | 0.821 | 0.003 | 0.196 |
| Euro3 | 0.034 | 0.817 | 0.001 | 0.186 |
| Euro4 | 0.033 | 0.638 | 0.001 | 0.065 |
| Euro5 | 0.002 | 0.459 | 0.001 | 0.025 |

Tabela 8.2 - Fatores de Emissão dos veículos pesados (urban buses, assumiu-se= HDV em cidade).

| Norma EURO | Gasóleo | |
|------------|-------------------------|------------------------|
| | PM ₁₀ (g/km) | NO _x (g/km) |
| pré-Euro | 0.909 | 16.500 |
| Euro1 | 0.479 | 10.100 |
| Euro2 | 0.220 | 10.700 |
| Euro3 | 0.207 | 9.380 |
| Euro4 | 0.046 | 5.420 |
| Euro5 | 0.046 | 3.090 |

Tabela 8.3 - Fatores de Emissão dos motociclos (v = 26 km/h).

| Norma EURO | Gasolina | |
|------------|-------------------------|------------------------|
| | PM ₁₀ (g/km) | NO _x (g/km) |
| pré-Euro | 0.020 | 0.250 |
| Euro1 | 0.020 | 0.262 |
| Euro2 | 0.005 | 0.227 |
| Euro3 | 0.005 | 0.216 |

8.4. Tráfego médio diário na Avenida da Liberdade

Tabela 8.4 – Tráfego médio diário na Avenida da Liberdade nos anos 2011 e 2012.

| TMD | 2011 | 2012 |
|------------------------|-------|-------|
| Sentido Restauradores | 11251 | 10658 |
| Sentido Marquês Pombal | 12417 | 12131 |
| Total | 23667 | 22789 |